

Henri Malassu

Luokkahuoneen valaistus LED-tekniikalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

31.5.2013

| | |
|--|--|
| Tekijä(t) Otsikko | Henri Malassu Luokkahuoneen valaistus LED-tekniikalla |
| Sivumäärä Aika | 61 sivua + 2 liitettä 31.5.2013 |
| Tutkinto | insinööri (AMK) |
| Koulutusohjelma | talotekniikka |
| Suuntautumisvaihtoehto | rakennusten sähkö- ja tietotekniikka |
| Ohjaaja(t) | toimitusjohtaja Kari Seitaniemi lehtori Jarno Nurmio |
| <p>Tämä insinöörityö käsittää Kiinteistö Oy Mäkelän koulun luokkahuoneiden valaistus selvityksen, jossa tutkittiin, löytyykö markkinoilta energiatehokkaita LED-valaisimia tai valonlähteitä vaihtoehtoiksi luokkahuoneen nykyisille T8-loisteputkivalaisimille. Uuden vaihtoehtoisen valaisimen tai valonlähteen tulisi olla energiatehokkaampi, mutta valaistuksen laadun tulisi kuitenkin pysyä vähintäänkin samana. Työ tehtiin Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy:n tilauksesta.</p> <p>Aluksi selvitettiin markkinoilta löytyvät vaihtoehdot, joilla voidaan korvata T8-loistelamppu. Usealla valaisinvalmistajalla oli tyypillisten loisteputkivalaisinten tapainen LED-valaisin, ja niitä lähdettiin tutkimaan korvaavana valaisimena. Markkinoilla oli myös suoraan nykyiseen valaisinrunkoon asennettavia LED-putkia vaihtoehtoksi T8-loisteputkelle. Käytettäessä suoraan nykyisiin valaisimiin vaihdettavia LED-valoputkia säilyi nykyinen valaisinmäärä ennallaan. Luokkahuoneen tauluvalaisimiksi etsittiin uudet LED-valaisimet.</p> <p>Luokkahuoneen nykytilanteen T8-loisteputkivalaisimilla saavutetut valaistusvoimakkuudet työtasolla mitattiin lux-mittarilla ja niitä verrattiin tämän päivän valaistusstandardeihin. Työssä keskityttiin oppilaitoksen asettamiin vaatimuksiin, koska tutkittavana kohteena toimi koulurakennus. Standardissa asetettiin omat vaatimuksensa valaistusvoimakkuuksille, mikäli opetustila toimii myös aikuisopetuskäytössä. Valaistuslaskelmia tehtäessä huomattiin, että korvaajiksi ajateltujen LED-valaisimien määrää jouduttaisiin kasvattamaan 50 % nykyisestä valaisinmäärästä, jotta saavutetaan standardin asettama taso aikuisopetuskäyttöön. Mittaustulosten vertailun jälkeen tutkittiin jokaisen valaistusvaihtoehdon taloudellinen arviointi, eli kuinka nopeasti lamppu alkaisi tuottaa rahallista säästöä oppilaitokselle.</p> <p>Haluttaessa siirtyä LED-tekniikalla varustettuun valaistukseen on tässä tapauksessa paras vaihtoehto vaihtaa nykyisiin valaisimiin LED-putket T8-loisteputkien tilalle. Laskelmilla pystyttiin toteamaan, että standardin vaatima 500 lx:n valaistusvoimakkuustaso saavutetaan vaihtamalla valaisimiin 30 W:n LED-putket. Käyttäjien huomiot valaistuksen laadusta on kuitenkin syytä huomioida ennen suurempia investointeja kuin vain tutkittavana olleen yhden luokkahuoneen osalta.</p> | |
| Avainsanat | LED, LED-putki, luokkahuone, valaistusvaatimukset |

| | |
|--|--|
| Author(s) Title | Henri Malassu Classroom lighting with LED technology |
| Number of Pages Date | 61 pages + 2 appendices 31 May 2013 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Building Services Engineering |
| Specialisation option | Electrical Engineering for Building Services |
| Instructor(s) | Kari Seitaniemi, CEO Jarno Nurmio, Principal Lecturer |
| <p>This Bachelor's thesis studied the classroom lighting in a school. The purpose was to investigate whether the T8 fluorescent lamps in the classrooms could be replaced by a more energy-efficient LED luminaires or LED tubes that could be directly installed to the existing frame.</p> <p>The luminous intensity of the currently installed T8 fluorescent lamps in the classroom was measured with a lux meter, and the results were compared to the lighting standards of today. The work focused on the standards set for adult educational institutions. When conducting the luminosity calculations, it appeared that in order to achieve these standards, the number of replacement LED luminaires should be increased by 50 % in comparison to the current number of lighting elements.</p> <p>After comparing the calculations, each lighting option was financially evaluated to measure how fast the chosen option would start to save money for the school.</p> <p>Calculations indicated that the 500 lx lighting intensity required by the standard would be achieved by installing 30 W LED tubes into the existing frames. However, qualitative observations on the quality of the lighting should be taken into account before the scope of the investment is taken beyond the one classroom that was studied.</p> | |
| Keywords | LED, LED tubes, classroom lighting |

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy | 2 |
| 3 | Valaistussuunnittelu | 3 |
| 3.1 | Valaistussuunnittelun tulosvaatimukset | 6 |
| 3.2 | Valaistuslaskenta ja visualisointi | 7 |
| 3.3 | DIALux-valaistuslaskentaohjelma | 7 |
| 4 | Valaistukseen liittyvät käsitteet | 9 |
| 4.1 | Valaistusvoimakkuus E | 9 |
| 4.2 | Luminanssi L | 12 |
| 4.3 | Häikäisy | 13 |
| 4.4 | Valotehokkuus | 14 |
| 4.5 | Valaistuksen tasaisuus | 15 |
| 4.6 | Väriämpötila | 16 |
| 5 | Valonlähteet | 17 |
| 5.1 | Lamput ja niiden valinta | 17 |
| 5.2 | Hehkulamppu | 19 |
| 5.3 | Halogeenilamppu | 19 |
| 5.4 | Energiansäästölamppu | 20 |
| 5.5 | Loistelamppu | 20 |
| 5.6 | Elohopea-, monimetalli ja suurpainenatriumlamppu | 21 |
| 5.7 | LED | 23 |
| 5.7.1 | Yleinen suhtautuminen LED-valaisimiin | 24 |
| 5.7.2 | Sovellusalat, edut ja ongelmat | 24 |
| 5.7.3 | Sisätilojen valaistus | 26 |
| 5.7.4 | Ulkotilojen valaistus | 26 |
| 6 | Loistevalaisimien korvaaminen LED-valonlähteillä | 27 |
| 6.1 | Riittääkö pelkkä valonlähteen vaihtaminen? | 28 |
| 6.2 | LED-loistelampulle ei ole tuotestandardia | 28 |
| 6.3 | Tekninen selostus loisteputkien vaihdosta LED-putkiin | 29 |

| | | |
|-------|---|----|
| 6.4 | Vertailu loistelamppujen ja lediputkien välillä | 31 |
| 6.5 | Kustannusvertailu | 32 |
| 7 | Valaistusvaatimukset oppilaitoksessa | 33 |
| 7.1 | Luokkahuonevalaistus | 33 |
| 7.2 | Luokkahuone 234: nykytilanne | 34 |
| 7.3 | Mittaukset ja ohjaukset | 36 |
| 7.4 | Oma arviointi nykytilanteesta | 38 |
| 7.5 | Henkilökunnan arviointi nykytilanteesta | 38 |
| 8 | LED-valaistuksenohjausratkaisut luokkahuone 234 | 39 |
| 8.1 | Valaistuksen ohjaus | 39 |
| 8.1.1 | Läsnäolo-ohjaus | 39 |
| 8.1.2 | Päivänvalo-ohjaus | 41 |
| 8.1.3 | DALI-ohjausjärjestelmä luokkahuoneessa 234 | 41 |
| 9 | Luokkahuoneen 234 uudet valaistussuunnitelmavaihtoehdot | 43 |
| 9.1 | Nykytilanteen laskelma | 45 |
| 9.2 | Vaihtoehto 1 / Philips | 46 |
| 9.3 | Vaihtoehto 2 / Glamox | 47 |
| 9.4 | Vaihtoehto 3 / Siteco Quadrature | 48 |
| 9.5 | Vaihtoehto 4 / Siteco Novaluna | 49 |
| 9.6 | Vaihtoehto 5 / Spittler 97 W | 50 |
| 9.7 | Vaihtoehto 6 / Spittler 81 W | 51 |
| 9.8 | Vaihtoehto 7 / Valtavalo LED-putki | 52 |
| 9.9 | Vaihtoehto 8 / Osram LED-putki | 53 |
| 9.10 | Tauluvalaistus | 54 |
| 9.11 | Yhteenveto tuloksista | 55 |
| 10 | Elinkaarikustannuslaskenta | 56 |
| 11 | Pohdinta ja johtopäätökset | 56 |
| 11.1 | LED-valaistus luokkahuoneissa | 56 |
| 11.2 | Toimenpide-ehdotus | 59 |
| | Lähteet | 60 |
| | Liitteet | |
| | Liite 1. Kysely henkilökunnalle | |
| | Liite 2. Investointilaskelmat | |

Lyhenteet ja käsitteet

| | |
|----------------------------------|---|
| A | tilan lattiapinta-ala [m ²] |
| a | vuosi |
| cd | kandela, valovoima I |
| cd/m ² | kandela/neliömetri, pintakirkkauden tunnus luminanssi |
| DALI | Digital Addressable Lighting Interface |
| DMX | Digital MultipleX |
| DSI | Digital Serial Interface |
| E _m | valaistusvoimakkuuden huoltoarvo (lx) |
| E _{min} | minimivalaistusvoimakkuus (lx) |
| E _{min} /E _m | valaistusvoimakkuuden yleistasaisuus |
| IEC | International Electrotechnical Commission |
| kWh | kilowattitunti, energia W |
| LED | loistediodi, Light Emitting Diode |
| lm | luumen ϕ , valovirta |
| lms | valomäärä Q |
| lm/W | valotehokkuus, K |
| lx | luksi |
| MMJ | muovivaippainen asennuskaapeli |
| n _l | lamppujen lukumäärä valaisimessa |
| n _v | valaisimien lukumäärä |
| PWM | pulssinleveysmodulaatio |
| Ra | lampun värintoistoindeksi, ilmoitetaan lukuarvona 0–100 |
| SFS | Suomen Standardisoimisliitto SFS ry |
| SVS | Suomen valoteknillinen seura ry |
| T5 | elektronisella liitäntälaitteella toimiva loistelamppu |
| T8 | magneettisella kuristimella toimiva loistelamppu |
| T26 | loistelamppu, jonka halkaisija on 26 mm |
| U ₀ | valaistuksen yleistasaisuus |
| UGR | Unified Glare Rating, häikäisyindeksi |
| W | Watti, teho P |

1 Johdanto

Energiansäästö on käsite, jonka kuulemiselta tuskin kukaan on voinut välttyä viime vuosina. Energiansäästön ymmärretään olevan merkittävä keino ilmastonmuutoksen hillitsemiseen. Valaistuksen osalta energiansäästön saavuttamiseksi kauppojen hyllyiltä katosivat huonon energiatehokkuuden vuoksi hehkulamput vuoden 2012 syksyllä. Seuraavaksi poistuvat elohopealamput vuonna 2015 ja C-energialuokan halogeenilamput tämän jälkeen vuonna 2016. Vuonna 2017 saamme heittää hyvästit magneettisilla kuristimilla (virranrajoitin) varustetuille loistelampuille ja jäljelle jäävät vain energiatehokkaimmat elektroniset liitäntälaitteet. Markkinoilta poistuvat lampputyypit, jotka eivät pysty toimimaan elektronisella liitäntälaitteella, kuten kaksinastaiset yksikanaloistelamput sisäisellä sytyttimellä. Koululaitoksissa on yleisessä käytössä kuristimella varustettuja loistevalaisimia.

Tämän insinööritoimiston tarkoituksena on selvittää näiden käyttöiän loppuunsa tulevien luokahuoneiden T8-loistevalaisimien uusimisvaihtoehdot nykystandardien mukaisesti LED-valaisimilla tai valonlähteillä. Työssä käydään läpi määräysten ja standardien asettamat tavoitteet ja vaatimukset valaistukselle. Tutkielmassa esitellään kuinka LED-valaisimiin yleisesti suhtaudutaan nykyään ja millaista tietoa niistä yleisesti ihmisillä on.

Työssä käydään läpi valaistussuunnittelun peruseriaatteen sekä standardin SFS-EN 12464-1 asettamat valaistusvaatimukset opetustilaan. Luokahuoneen valaistuksen nykytilanteen kartoituksen jälkeen vertaillaan muutamaa eri vaihtoehtoa energiatehokkaampaan LED-valaisimeen tai valonlähteeseen. Vertailussa otetaan huomioon energiankulutuksen lisäksi myös hankintakustannukset sekä valaistustekniset tekijät. Laskelmien ja muiden selvitysten pohjalta tehdään ehdotus, jonka pohjalta tehdään luokkatilaan koeasennus. Koeasennuksen valmistuttua tehdään uudet valaistusmittaukset, jotta lopuksi voidaan esittää lopputulos ja ehdotus valaistuksen uusimisesta koko oppilaitoksen luokahuoneiden osalta.

Työn tilaajana toimii Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy, ja kohteena on Mäkelän koulu Helsingissä. Kohteena oleva rakennus on valmistunut 1954, ja se oli aikoinaan Pohjoismaiden suurin kansakoulu. Kiinteistön viimeisin peruskorjaus on tehty vuonna 1995. Rakennuksen pinta-ala on 13 350 m². [1]

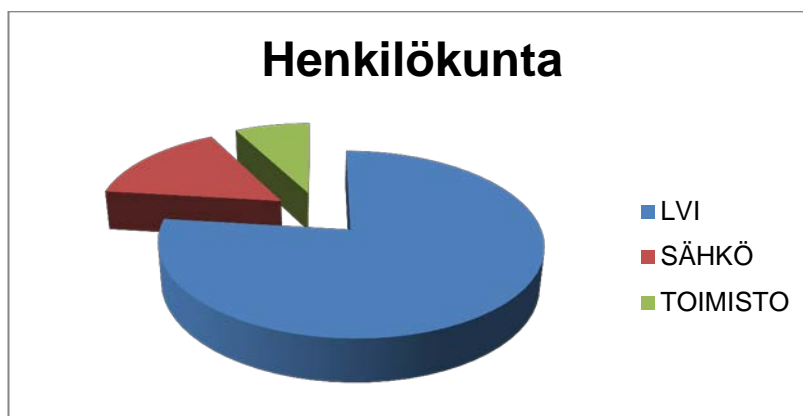
2 Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy

Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy on vuonna 1956 perustettu talotekniikan suunnittelutoimisto. Toimisto on ollut Suunnittelu ja konsulttitoimistojen liitto SKOL ry:n jäsen vuodesta 1968.

Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy:n toimiala on talotekninen suunnittelu. Toiminta kattaa talotekniikan LVI-, sähkö-, tele- ja rakennusautomaatiojärjestelmät. Toimiston erikoisosaamisiin kuuluvat vaativat restaurointi- ja korjaushankkeet, pesulatekniikka ja oppilaitokset. Päätoimialana toimistolla on LVI-tekniikka, sähkötekniikka, LVI-jäähdytystekniikka, rakennusautomaatio, energiaselvitykset, kuntoarviot sekä rakennuttajapalvelut.

Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy:llä on käytössään vuonna 2001 sertifioitu RAKL-SKOL-ATL-laatu järjestelmä, joka on auditoitu viimeksi syksyllä 2012.

Toimisto työllistää 25 henkilöä, joista valtaosa kuuluu LVI-osastoon, sähköosaston ollessa huomattavasti pienempi. Liikevaihto vuonna 2011 oli 2,6 milj. € [2]



Kuvio 1. Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy:n henkilökunta osastoittain jaoteltuna

Kuviossa 1 on esitetty Insinööritoimisto Leo Maaskolan henkilökunnan jakautuma osastoittain.

3 Valaistussuunnittelu

Valaistussuunnittelu on yksi osa varsinaisen sähkösuunnittelijan monista työtehtävistä. Joissain sähkösuunnittelutoimistoissa on myös pelkästään valaistuksen kanssa työskenteleviä suunnittelijoita. Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy:ssä sähkösuunnittelija vastaa kohteen muun sähkösuunnittelun ohessa myös valaistussuunnittelusta. Valaistuksen suunnittelu kohteeseen tehdään kuitenkin vahvassa yhteistyössä kohteen pääsuunnittelijan, arkkitehdin kanssa.

Yleisesti voidaan ajatella niin, että rakennus on arkkitehdin oma taideteos ja valaistuksella pystytään korostamaan rakennuksen eri yksityiskohtia. Tästä syystä arkkitehti on erityisen kiinnostunut rakennuksen valaistuksesta. Arkkitehti tekee oman suunnitelmansa/hahmotelmansa valaistuksesta rakennuksen arkkitehtonisiin tiloihin. Sähkösuunnittelijan tehtävä on tukea arkkitehdin näkemystä omalla tietämyksellään valaistukseen liittyvistä standardeista ja vaatimuksista. Arkkitehdillä ei aina välttämättä ole tarkkaa tietoa siitä, millaisia valomääriä tietyissä tiloissa pitäisi olla ja sähkösuunnittelijan tehtäväksi jääkin tekninen toteutus arkkitehdin näkemyksestä. Sähkösuunnittelija pystyy valonlähdevalinnoilla sekä valaisinmäärillä korostamaan arkkitehdin suunnitelmaa, jotta lopulta saavutettaisiin eri standardien määrittämät tasot ja vaatimukset. Arkkitehti ei kuitenkaan tee suunnitelmia valaistuksesta ns. yleisten tilojen osalta. Näiden tilojen valaistussuunnittelun suhteen sähkösuunnittelijan on hyvä olla itse aktiivinen ja hyväksyttää arkkitehdillä omat valaisinvalintansa. Näin taataan hyvä yhteistyö pääsuunnittelijan kanssa. Hyväksi tavaksi on osoittautunut valaisinkuvaston teko kohteen valaisimista, jota on helppo esitellä kaikille kohteen valaistuksesta kiinnostuneille ennen valaisinten lopullista hankintaa. Sisätilojen valaistussuunnitelmaa tehtäessä sähkösuunnittelija tekee myös yhteistyötä kohteessa mahdollisesti mukana olevan sisustussuunnittelijan kanssa. Tieto kalusteiden sijainnista jo suunnitteluvaiheessa on valaistussuunnittelijalle suuri apu. Valaistussuunnitelmaa tehtäessä on myös syytä tutustua kohteen LVI-järjestelmien suunnitelmiin mahdollisissa ahtaissa alakattotiloissa.

Vaikka valaistussuunnittelija käyttääkin suunnitelman teossa apunaan monia olemassa olevia standardeja, tulee suunnitelman lähtökohtana kuitenkin aina olla tilan ominaisuudet ja käyttö eikä tekniset kriteerit, jotka eivät ole ensisijaisesti suunnittelun lähtökohtia vaan valaistussuunnittelijan työkaluja. Eri valaistustapoja sovellettaessa kriteerit voivat vaihdella suurestikin. [3]

Valaistussuunnittelussa huomioon otettavia seikkoja ST-kortin 58.04 mukaan ovat

- itse rakennuksen valaistukselle asettamat tarpeet ja rajoitukset
- LVI-järjestelmät ja alakattorakenteet (tilantarpeet, kiinnitykset)
- turva- ja AV-järjestelmät
- käyttäjät ja heidän tarpeensa ja toiveensa
- rakennuttajan intressit
- asennustavat, materiaalit, kustannukset, huollettavuus ja energiankulutus
- muuntojoustavuus.

Valaistussuunnittelun lähtötietoja ovat

- neuvotteluiden perusteella määritetyt arkkitehtonisuus ja rakennukseen sopiva tyyli
- erityyppiset huoneet ja niiden mitat, korkeudet, värikyset, sisustus
- tilojen käyttötarkoitukset
- tehtävät tilassa ja tehtävien valaistusvoimakkuusvaatimukset
- alakatot
- tilaan suunniteltu LVISA-tekniikka
- huoneen kalustus, jos se tunnetaan jo suunnitteluvaiheessa
- tietokonenäyttöjen sijoitus ja tyyppi
- huoneiden tilaluokitus ja muut ympäristön vaatimukset
- ilkivalta- ym. vaatimukset
- päivänvalon määrä
- laatutaso
- kustannustaso
- sähkönjakelujärjestelmä.

Valaistuksen suunnittelun lähtökohtana ovat valaistuksen tavoitteet: mitä valaistaan ja miten halutaan valaista. Valaistustavoitteet pystytään toteuttamaan monia eri valaistustapoja käyttäen. [3]

Valaistussuunnittelun kulku on seuraava:

- otetaan huomioon rakennusten sisätilakohtaiset vaatimukset ja rakennusten ja alueiden ulkovalaistusvaatimukset
- tehdään vaihtoehtoisia ratkaisuja
- mitoitetaan valaistus
- valitaan käytettävät valaistusratkaisut, valaisimet ja valonlähteet ja tehdään valaistussuunnitelma
- tehdään vaihtoehtoisia ratkaisuja
- mitoitetaan valaistus
- valitaan valaisimet
- valitaan valonlähteet
- tehdään lopullinen valaistussuunnitelma.

3.1 Valaistussuunnittelun tulosvaatimukset

Taulukossa 1 on esitetty valaistussuunnittelun tuloksena valittavat asiat ja dokumentit, joissa tulokset esitetään

Taulukko 1. Tulosvaatimukset esitettävässä dokumentissa [3].

| Valittavat asiat | Dokumentti |
|---|---|
| Valaistustavat (suora, puolisuora, suora/epäsuora, puoliepäsuora, epäsuora) | Tasot ja leikkaukset |
| Asennustavat (pinta-, uppoas.) | Tasot ja leikkaukset |
| Korostusvalaistuksen käyttö | Työselitys, tasopiirustukset, leikkaukset ja valaisinluettelo |
| Sijoitus (katto, seinä, pylväs jne.) | Tasopiirustukset, leikkaukset, detaljit ja valaisinluettelo |
| Ohjaus- ja säätötavat | Erillinen valaistuksen ohjausselostus, työselitys, tasot, valaisinluettelo ja keskuskaaviot |
| Sovitus muihin järjestelmiin | Työselitys, tasot ja leikkaukset |
| Valaisimet | Valaisinluettelo, valaistuslaskelmat, tasot ja leikkaukset |
| Lamput/valonlähteet | Työselitys, valaistuslaskelmat ja valaisinluettelo |
| Lamppujen väriominaisuudet | Työselitys, valaistuslaskelmat ja valaisinluettelo |
| Valaisimien määrät ja sijoituspaikat | Valaisinluettelo, detaljit, tasot ja leikkaukset |
| Valaistusvoimakkuudet | Työselitys ja valaistuslaskelmat |
| Erikoisratkaisut | Detaljit, työselitys ja valaisinluettelo |

3.2 Valaistuslaskenta ja visualisointi

Valaistus mitoitetaan suunnitteluvaiheessa valaisimien sekä tilan käytön ja koon mukaan. Mitoitus voidaan tehdä kokemuseräisesti tai valaistuksen mitoitusohjelmistolla tietokoneella. Valaistuksen lopullinen mitoitus lasketaan pääsääntöisesti tietokoneella valaistuslaskentaohjelman avulla. [3]

3.3 DIALux-valaistuslaskentaohjelma

Yhtenä valaistussuunnittelun tärkeimmistä visualisointityökaluista toimii DIALux-valaistuslaskentaohjelma. Ohjelmisto on käyttäjälle ilmainen. Lähes jokainen valaisinvalmistaja hyödyntää ohjelmistoa tarjoamalla ohjelmiston käyttöön oman valaisintietokantansa. Valaisintietokannoissa on tarkat tiedot ja mitat valaisimista, valonjakokäyrät ja laskettavan paikan yhteenveto ja simulointi onnistuvat vaivattomasti.

Ohjelma on helppokäyttöinen, ja siinä voidaan myös hyödyntää sähkösuunnittelijan yleisintä työkalua CADia. DIALux-ohjelmaan voidaan ladata suoraan AutoCad kuva, jossa voi olla myös valaisinten paikat piirrosmerkkeinä. Piirrosmerkkien päälle on helppo ja nopea lisätä valaisimet valaisintietokannoista. Kohteesta täytyy olla tiedossa laskettavan alueen rajat, pintamateriaalit ja niiden värit, katon korkeus ja valaisinten asennuskorkeus, jos käytetään ripustettavia valaisimia. Kattoasennuksessa ohjelma osaa sijoittaa valaisimet määritetyn katon korkeuteen.

Laskettavaan tilaan voidaan ohjelmistossa lisätä myös erilaisia objekteja. Pylväät, palkit, rampit, ovet ja ikkunat saadaan lisättyä helposti mallinnukseen (kuva 1). Myös tilan mallintaminen huonekaluilla on mahdollista. Kuitenkin kannattaa miettiä tarkkaan, kuinka paljon tilaan lisää ylimääräisiä objekteja, jotka eivät välttämättä vaikuta valaistuslaskentatuloksiin. Kaikki objektit tekevät tiedostosta aina raskaamman, ja siten sen käsittely vaikeutuu ja hidastuu. Samaten voi tulla ongelmia, jos haluaa tiedostoa liikuttaa vaikka sähköpostitse. Monet postilaatikot vastaanottavat vain rajoitetun kokoisia tiedostoja. [4]

Ohjelmistolla tehdään laskettavasta alueesta todentuntuinen 3D-mallinnus (kuva 1), josta saadaan kattava laskentatulos valaistusvoimakkuuksista jokaiselta tilan pinnalta projektiin määritetyillä valaisimilla. Ohjelmistosta saadaan ulos monenlaista raporttia

mukaan lukien mm. videomallinnus tilasta. Raporttien kanssa pitää kuitenkin olla tarkkana siitä, mitkä tiedoista ovat oleellisia, jotta raportti on lyhyt ja ytimekäs. Raportissa on syytä esittää vähintään valaisintietoarkki, tilan yhteenveto, luettelo valaisimista, valaistustekniset tulokset, kolmiulotteinen kuvanmuodostus ja yhtenä mielenkiintoisimmista yksityiskohdista vääräväri-kuvanmuodostus, josta on helpoin ja nopein katsoa valaistustasot eri pinnoilla.



Kuva 1. DIALux-mallinnus luokkahuoneesta 234.

Ennen ohjelmiston sujuvaa käyttöä pitää ohjelmistoon asentaa erikseen valaisinvalmistajien valaisintietokantoja ns. DIALux-plug-ineja, jotta valaisimia voidaan lisätä aktiiviseen projektiin. Tässäkin asiassa kannattaa käyttää harkintaa, kuinka monia eri valaisintietokantoja tarvitsee. Valaisintietokannat ovat myös melko isokokoisia tiedostoja, ja hitailla yhteyksillä niiden lataamiseen voi mennä turhauttavan pitkä aika. Projektiin on myös mahdollista lisätä yksittäisiä valaisimia käyttäjän omaan tietokantaan, jolloin valaisimien lisääminen onnistuu nopeasti. [4]

4 Valaistukseen liittyvät käsitteet

4.1 Valaistusvoimakkuus E

Valaistusvoimakkuuden tunnus on E ja yksikkö on luks [lx]. Yhden luksin valaistus on neliömetrin alueella, kun sitä valaistaa 1 luumenin valovirralla. Valaistusvoimakkuus kuvaa tietylle pinta-alalle kohtisuoraan saapuvan valovirran määrää. [5]

Valaistusvoimakkuus voidaan laskea kaavasta (1):

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

, jossa

Φ on valovirta (lm)

A on pinta-ala (m²)

Valaistusvoimakkuudella tarkoitetaan jonkun tilan valaistusolosuhteiden laatua. Valaistusvoimakkuus saadaan helposti selvitettyä olemassa olevasta tilasta valaistusvoimakkuusmittarilla. Suunniteltaessa valaistusta tulisi jo suunnitteluvaiheessa ottaa huomioon tilan valaistusvoimakkuuksien vaatimukset (taulukko 2). Suunnittelija pystyy valaistuslaskentaohjelmilla jo tässä vaiheessa mallintamaan tilan ja huomaamaan, jos vaadittuja valaistusvoimakkuuksia ei saavuteta.

Taulukko 2. Valaistusvoimakkuusarvoja

| Valaistusvoimakkuus | Kohde ja käyttö |
|---------------------|--|
| 0,005 lx | tähtien valo |
| 0,1 lx | kuun valo |
| 1 lx | tyypillinen elektronisten kameroiden herkkyysraja |
| 30 lx | ulkoalueiden yleisvalaistus |
| 150 lx | aulat |
| 300 lx | isot tilat karkeaan työhön |
| 500 lx | toimistohuoneet, luokahuoneet |
| 1 000 lx | tarkkuutta vaativa toimistotyö ja työstö, TV-studio |
| 5 000 lx | poikkeuksellista tarkkuutta vaativa työ |
| 10 000 lx | normaali pilvinen päivä |
| 100 000 lx | aurionvalo kirkkaimmillaan, leikkaussalin kohdevalaistus |

Vertailun vuoksi mainittakoon, että kirkasvalohoidossa vaadittava valaistusvoimakkuus on 2 500 luksia. Näin suuria arvoja tarvitaan vain erittäin tarkkaa työtä tehtäessä. Lääkärinvarmistustyössä vaaditaan 1 000 luksia ja hammaslääkärissä toimenpidealueella on tarpeen 5 000 luksin valaistusvoimakkuus.

Standardissa SFS-EN 14264-1 annetaan keskimääräisen valaistusvoimakkuuden arvo E_m , joka on valaistusvoimakkuuden huoltoarvo. Tämän arvon alle valaistustaso ei saa pudota asennuksen eliniän aikana. Tämä arvo kertoo ennen valaistuksen huoltoa saatavan keskimääräisen valaistusvoimakkuuden minimiarvon. Valaistuslaskentaohjelmistoissa tätä arvoa käytetäänkin suoraan raporttien valaistusvoimakkuusarvona. [6]

Standardissa SFS-EN 14264-1 on annettu erilaisille tiloille ja rakennuksille omat valaistusvoimakkuusarvonsa. Suunnittelijan on hyvä muistaa nyrkkisääntönä muutama perustaso valaistusvoimakkuuksille. Standardissa määritellään valaistusvoimakkuustason lisäksi myös vaatimuksia tilan valaistuksen ohjaukselle huomautuksena. Näitä huomautuksia ei varmastikaan aina toteuteta riippuen tilaajan omista vaatimuksista sekä kustannussyistä.

Taulukko 3. Ote standardin EN 12464-1 taulukoista oppilaitosten osalta

| Oppilaitos | E_m | UGR_L | U_0 | R_a | Huomautukset |
|------------------------------|-------|---------|-------|-------|-------------------------------------|
| Luokat | 300 | 19 | 0,6 | 80 | Valaistuksen tulisi olla säädettävä |
| Iltaopetus | 500 | 19 | 0,6 | 80 | Valaistuksen tulisi olla säädettävä |
| Luentosalit | 500 | 19 | 0,6 | 80 | Valaistuksen tulisi olla säädettävä |
| Liitutaulu | 500 | 19 | 0,7 | 80 | Suuntaheijastumisia vältettävä |
| Havainto- pöydät | 500 | 19 | 0,7 | 80 | Luentosaleissa 750 lx. |
| Piirustussalit | 500 | 19 | 0,6 | 80 | |
| Laboratoriot | 500 | 19 | 0,6 | 80 | |
| Käsityöluo- kat, tekn.työ | 500 | 19 | 0,6 | 80 | |
| Musiikkiluo- kat | 300 | 19 | 0,6 | 80 | |
| ATK-luokat | 300 | 19 | 0,6 | 80 | Huom. Näyttöpäätetyön suositukset |
| Kirjaston lukualueet | 500 | 19 | 0,6 | 80 | |

E_m on keskimääräinen valaistusvoimakkuus (E_m) lukseina

UGR_L on häikäisyindeksi

U_0 on valaistuksen yleistasaisuus (vähimmäisarvo) $\geq 0,1$

R_a on lampun värintoistoindeksi, ilmoitetaan lukuarvona 0–100

Valaistusvoimakkuutta ei määritellä koko tilaan vaan ainoastaan työalueelle. Työalueen kokoa ei määritellä, vaan se jätetään suunnittelijan tehtäväksi. [5]

4.2 Luminanssi L

Luminanssin tunnus on L, ja sen yksikkö on kandela neliömetriä kohden (cd/m²). Luminanssi kuvaa kappaleen pinnalta lähtevää silmiin heijastuvaa valonvoimakkuutta. Luminanssi voidaan käsittää mittana pintakirkkaudelle. Näkemiseen vaikuttavat tärkeimmät luminanssit muodostuvat kohteista ja ympäristöstä. Ympäristön ollessa hämärä silmä erottaa huonosti lähekkäin sijaitsevat kohteet sekä niiden kontrastierot ja pienet yksityiskohdat. Lisättäessä luminansseja ympäristöön silmän näkökyky paranee, mutta silmän näkökyvyn yläraja tulee kuitenkin vastaan. Ympäristön näkyvyys on maksimisensa ylärajalla, ja näkyvyys ei silloin enää parane. Luminanssiarvot voivat olla liian korkeat tai luminanssisuhteissa olevat suuret erot voivat aiheuttaa häikäisyä, mikä tekee näkemisestä vaikeampaa. Pinnalle tuleva valo sekä pinnan heijastusominaisuudet määrittävät pinnan luminanssin. Valaistuksen valonlähteellä, rakenteella ja suuntauksella pystytään vaikuttamaan pinnalle osuvaan valoon ja sen määrään. [5]

Luminanssi voidaan laskea kaavasta (2)

$$L = \frac{I}{A}$$

, jossa

I on valovoima, kandela (cd)

A on pinta-ala, neliötä (m²)

4.3 Häikäisy

Yksi valaistuksen pahimmista epäkohdista on häikäisy, joka häiritsee esimerkiksi työn tekemistä. Häikäisyä syntyy, jos ympäristön luminanssi on niin suuri, ettei silmä enää pysty sopeutumaan siihen. Yleinen valaistuksen aiheuttama häikäisyn lähde on jokin näkökentän yksittäinen luminanssi, joka on näkökentän muita luminansseja paljon voimakkaampi. Tällainen voi usein olla valonlähteen näkyminen, heijastukset peilaavista pinnoista tai päivänvalo. Häikäisy jaetaan usein suoraan ja epäsuoraan häikäisyyn riippuen siitä, onko kirkas kappale itse valonlähde vai johtuuko kirkkaus heijastumisesta. Lisäksi häikäisyä jaetaan myös vaikutustavan mukaan esto- ja kiusahäikäisyyn. Sisätiloissa ongelmallisimmin häikäisy koetaan kiusahäikäisyn muodossa. [5]

Standardissa EN 12464-1 määritellään häikäisyn raja-arvot. Kiusahäikäisyn määrittämiseen standardissa käytetään CIE:n julkaisussa 117–1995 kuvattua UGR-taulukkomenetelmää. UGR-arvolle on annettu eri tiloihin ylärajat, joita valaistuksen UGR-arvot eivät saa ylittää.[6]

UGR-tarkastelun lisäksi edellytetään myös kirkkaiden valonlähteiden aiheuttaman häikäisyn rajoittamista määrittelemällä lampun luminanssista riippuvat häikäisysuojakulman raja-arvot taulukon 4 mukaisesti.

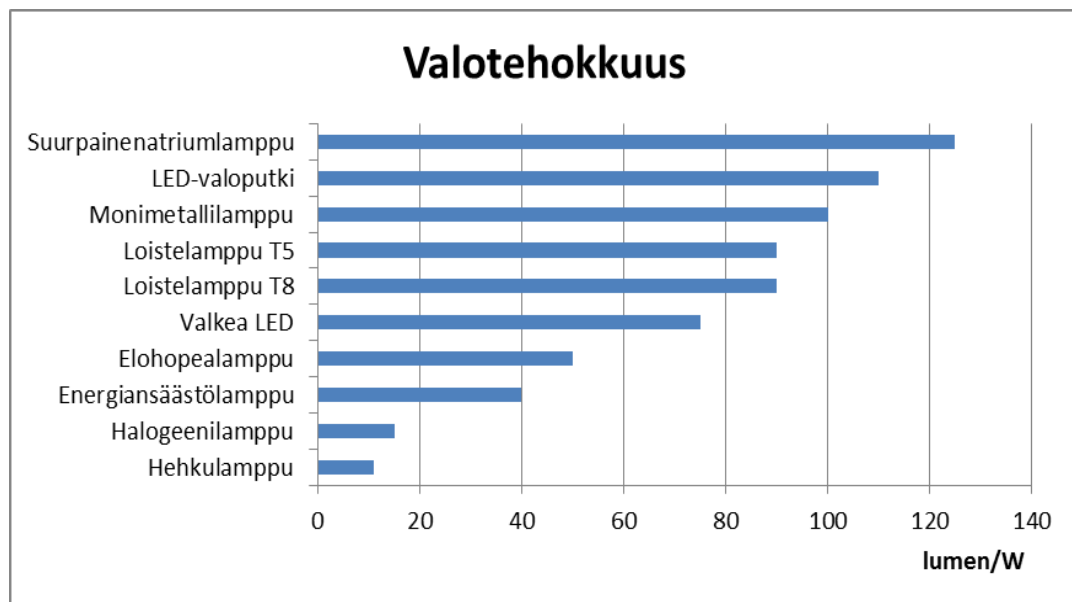
Taulukko 4. Häikäisysuojakulman minimiarvot erilaisilla lamppujen luminansseilla [5]

| Lampun luminanssi kcd/m ² | Minimi häikäisysuojakulma |
|--------------------------------------|---------------------------|
| 20 ... < 50 | 15 |
| 50 ... < 500 | 20 |
| >500 | 30 |

4.4 Valotehokkuus

Valotehokkuus kertoo, kuinka paljon valoa saadaan käytettyä sähkötehoa kohden. Valotehokkuus ilmoitetaan luumeneina wattia kohden (lm/W). Valotehokkuus kuvaa suoraan valonlähteen hyötysuhdetta. Verrattaessa eri valonlähteiden energiatehokkuutta valotehokkuus on erittäin olennainen asia. Valonlähteen valotehokkuus saadaan selville jakamalla sen tuottama valomäärä lm sen kuluttamalla sähköteholla W . Mitä enemmän valovirtaa sähkötehoa kohti tuottava valonlähde on, sitä energiatehokkaampi ja hyötysuhteeltaan parempi se tällöin on. [7]

LED-valaisimen valotehokkuutta ei ilmoiteta hyötysuhteen avulla, sillä LED-moduulien nimellisvalovirtaa ei ole standardisoitu samalla tavalla kuin loistelampuissa. Tämän vuoksi LED-tekniikassa vertailuyksiköksi katsotaan koko valaisin, loistediodit ja tehollähde mukaan lukien, jolloin hyötysuhde on aina 100 prosenttia. Valaisinvalmistajat ilmoittavat LED-valaisimen tehokkuuden kokonaisvalovirran (lm) suhteena mitattuun tehoon (W) valaisimessa syntyvät häviöt mukaan lukien (lm/W). [8]



Kuva 2. Eri valonlähteiden valotehokkuuksien vertailutuloksia [9].

4.5 Valaistuksen tasaisuus

Valaistuksen tasaisuus tarkoittaa minimiarvon suhdetta keskiarvoon. Työpisteellä on pysyttävä valaistuksen tasaisuuden suhteen minimin ja keskiarvon osalta yli kertoimen 0,7 ja lähiympäristössä ei saa laskea alle kertoimen 0,5. Tiloissa, joissa täytyy nähdä selkeästi, on valaistuksen tasaisuus riittävän valaistusvoimakkuuden kanssa hyvä yhdistelmä. Standardissa SFS-EN 12464-1 on määritetty vaatimukset valaistuksen tasaisuuksille työalueille sekä niiden lähialueille. [10]

Taulukosta 5 voidaan todeta, että valaistusvoimakkuus ei saa laskea merkittävästi työpisteeltä lähdettäessä. Mikäli työpisteellä on valaistusvoimakkuustasona 500 luksia, ei työpisteen välittömässä läheisyydessä valaistusvoimakkuus saa laskea alle 300 luksin. Välittömän lähiympäristön muodostaa puolen metrin vyöhyke työalueen ympärillä. Työalueelle sekä välittömälle lähiympäristölle määritellään omat valaistuksen tasaisuusarvonsa. [7]

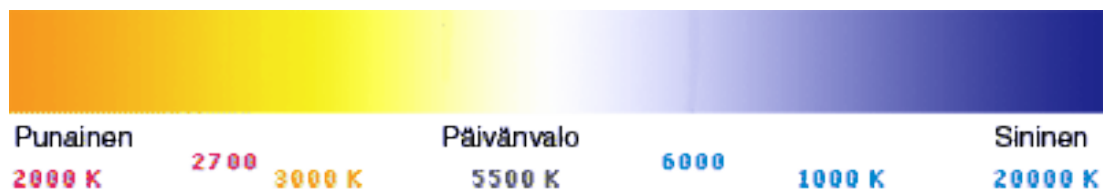
Taulukko 5. Työalueen ja sen välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuksien suhteet ja ohjeet valaistuksen tasaisuudelle [7].

| Työalueen valaistusvoimakkuus (lx) | Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus (lx) |
|------------------------------------|--|
| >750 | 500 |
| 500 | 300 |
| 300 | 200 |
| <200 | sama kuin kohteessa |
| Tasaisuus: >0,7 | Tasaisuus: >0,5 |

4.6 Värilämpötila

Värilämpötila ilmoittaa lampun valon sävyn ja sitä mitataan Kelvin-asteikolla (K). Mitä korkeampi asteikko on, sitä kylmempi valo on (sininen) ja lähempänä päivänvaloa. Mitä matalampi värilämpötila on, sitä lämpimämpi valo on (keltainen tai punainen). Työvaloksi suositellaan valaisimia, joiden värilämpötila on väliltä 2 500 - 3 000 K. Tilojen toiminnan kannalta valon värillä on suuri merkitys. Lämminsävyinen valo on omiaan viritämään elimistöä lepotilaan, kun taas valkoinen valo aktivoi ihmistä. Pohjoismaissa on tyypillisesti kylmän talven vuoksi miellytty lämminsävyisiin 3 000 K:n lamppeihin, kun eteläisessä Euroopassa suositaan viileämpiä värilämpötiloja. Tavallisella hehkulampulla värilämpötila on 2 700 K ja halogeenilampulla noin 3 000 K. Myös valaistusvoimakkuudella on merkityksensä miellyttäväksi koettuun valon värilämpötilaan. Suurilla valaistusvoimakkuuksilla viileä väri mielletään mukavammaksi, kun taas pienillä valaistusvoimakkuuksilla lämmin valo koetaan luonnollisemmaksi. [5]

Käytettävät mittaustavat ja välineet on kehitetty perinteisille valonlähteille, ei niinkään ledeille. Tästä johtuen kansainvälinen valaistuskomissio, International Commission on Illumination (CIE) on alkanut kehittämään uusia mittaustapoja. Ledien värilämpötila voi vaihdella valonlähteen valmistajan mukaan, vaikka ilmoitettu lukema olisi sama. Ledien värilämpötila voi myös muuttua ajan kuluessa. Muutaman tuhannen käyttötunnin jälkeen arvo ei välttämättä ole enää sama kuin uudessa tuotteessa. [8]

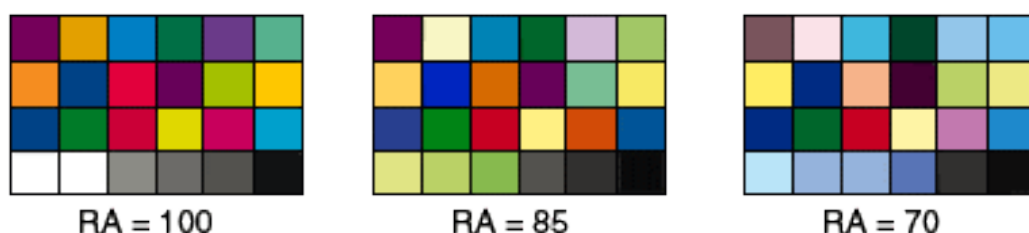


Kuva 3. Värilämpötilat [11]

Valkoisten ledien värilämpötila-asteikko on laaja lämpimästä valkoisesta erittäin kylmään valkoiseen (2 700 – 8 000 K). Koska valkoinen valo tuotetaan sinisellä ledillä, kylmemmissä värilämpötiloissa valotehokkuus on suurempi kuin lämpimissä. Tämä johtuu siitä, että lämpimämpää värilämpötilaa varten fosforin on muutettava suurempi osa alkuperäisestä sinisestä valosta. [5]

Värintoistoindeksi RA (0–100) (Color Rendering Index) ilmoittaa valonlähteen kyvyn toistaa värejä. Indeksien arvo vaihtelee välillä 0–100. Tyydyttävä värintoistoindeksi toimistovalaisuudessa tulee olla vähintään 85. [5]

Perinteisiin valonlähteisiin verrattuna ledien värintoistokyky ei ole aivan samanlainen. Se ilmoitetaan kuitenkin samalla tavalla RA/CRI-arvona. Värintoistoindeksi (RA) vaihtelee loistediiodista riippuen yleensä väliin 60–95. Korkeissa RA-arvoissa valotehokkuus on usein jonkin verran alhaisempi. [8]



Kuva 4. Värintoistoindeksit RA vasemmalta oikealle väliltä 100–70 [11]

5 Valonlähteet

5.1 Lamput ja niiden valinta

Karkeasti jaettuna sähkövalon tuottotavat jaetaan kahteen ryhmään: termiseen säteilyyn (hehkulamput) ja luminanssisäteilyyn (loiste- ja purkauslamput). Purkaus- ja loistesäteilyyn perustuvia valonlähteitä käytetään pääosin yleisessä valaistuskäytössä, vaikka pienoisjännitehalogeenit termisen säteilyyn perustuvista valonlähteistä ovatkin kehittyneet. Valaistuksen kannalta valonlähteen valinta on erittäin tärkeää ja se vaikuttaa moneen tilaan, sähköistyksen, valaisimien, valon, kustannusten ja häviöiden yksityiskohtaan. [3]

Lampun valinta vaikuttaa seuraaviin asioihin:

- Suuremmalla valotehokkuudella päästään pienempään energiankulutukseen.
- Suuremmilla yksikkötehoilla on parempi valotehokkuus kuin saman lampputyypin pienemmillä yksikkötehoilla.

- Värilämpötilaan vaikuttaa myös tilan väritys.
- Sisävalaistuksessa värintoistoindeksi tulee olla yli 80 ja hyvään värintoistoon pyritessä yli 90.

Valonlähteen valintakriteereinä voivat olla esimerkiksi

- valovirta (valon määrä) ja sen alenema
- valotehokkuus
- polttoikä
- valokappaleen luminanssi
- valon väriominaisuudet
- UV- ja infrapunasäteily
- syttymis- ja jälleensyttymisaika
- välkyntä
- soveltuvuus himmennykseen
- verkkoliityntä
- valotehokkuus
- koko ja muoto
- toiminnan riippuvuus ulkoisista tekijöistä
- lampputyypin määrä (mahdollisimman pieni)
- hankinta- ja käyttökustannukset.

Lamppujen, joista on olemassa kansainväliset standardit, on täytettävä julkaisuissa IEC 64, IEC 64A, IEC 81, IEC 188, IEC 192, IEC 432 ja IEC 662 kyseiselle lampputyypille esitetyt vaatimukset. Lampunkantojen on oltava julkaisussa IEC 61-1 esitettyjen kyseistä lampputyypin koskevien standardilehtien mukaisia. [3]

5.2 Hehkulamppu

Valonlähteistä se kaikkein perinteisin, hehkulamppu tuottaa valoa kun volframista tehtyyn hehkulankaan johdetaan sähkövirtaa. Lampun heikkoutena on hyötysuhde. Vain 3-5 % sähköstä muuttuu valoksi ja loppu lämmöksi. Tästä syystä hehkulamppujen myynti on nykyään kielletty. Hehkulampun elinikä on noin 1 000 h ja valotehokkuus noin 11 lm/W. Hehkulamppu kytketään suoraan 230 V:n vaihtovirtaan ja sitä pystytään himmentämään. [12]



Kuva 5. Hehkulamppu [13]

5.3 Halogeenilamppu

Halogeenilamppu, joka tavalliseen hehkulamppuun verrattaessa on pitkäikäisempi ja energiatehokkaampi. Halogeenilampun suojakupu on täytetty normaalin hehkulampun tavoin inerteillä kaasuilla, joita on täydennetty halogeenikaasuilla. Hyötysuhteeltaan halogeeni on parempi kuin tavallinen hehkulamppu, koska hehkulangan lämpötilaa pystytään nostamaan korkeammaksi kaasuuntuneen halogeenin ansiosta. Halogeenin tyypillinen elinikä on noin 2000 h, kaksinkertainen hehkulamppuun verrattuna. Valotehokkuus on noin 15–18 lm/W. Halogeenilamppu voidaan kytkeä sekä 230 V:n vaihtovirtaan että 12 V:n tasavirtaan. 12 V:n lamput tarvitsevat muuntajan. Halogeenilamppua pystytään himmentämään. [12]



Kuva 6. Halogeenilamppu [13]

5.4 Energiansäästölamppu

Perinteisen hehkulampun korvaajaksi ajateltu valonlähde, joka toimii loisteputken periaatteella ollen energiatehokkuudeltaan hehkulamppua parempi. Loistelamput vaativat toimiakseen liitäntälaitteen. Energiansäästölampussa liitäntälaitte on lampussa mukana ja näin se voidaan kytkeä suoraan 230 V:n vaihtovirtaan. Energiansäästölamppun elinikä on noin 6–20 000 h ja valotehokkuus noin 40–60 lm/W. Energiansäästölamppu ei tavallisesti ole himmennettävissä. Himmennettäviä erikoismalleja on joissain määrin saatavilla. Energiansäästölamppua ei ole järkevää käyttää ulkokäytössä, koska silloin se ei välttämättä anna täyttä valotehoa. Umpinaisissa tiloissa lamppu toimii hyvin sen lämmityksessä riittävästi. [12]



Kuva 7. Energiansäästölamppu [13]

5.5 Loistelamppu

Loistelamppu on matalapaineinen purkauslamppu. Loistevalaisin koostuu loistelampusta, sytyttimestä ja kuristimesta. Toiminta perustuu putkeen sisältyvään elohopeaan, joka kaasuuntuu sähköpurkauksen vaikutuksesta. Näin putkeen muodostuu höyryä, joka tuottaa näkyvää valoa sekä ultraviolettisäteilyä. Putken sisäpinnan loisteaine muuttaa ultraviolettisäteilynkin näkyväksi valoksi. Loisteputket eivät sisällä liitäntälaitetta. Tästä syystä niitä ei voida kytkeä suoraan verkkovirtaan, vaan loistevalaisimissa on valmiina sytytin ja kuristin. Kuristin rajoittaa virran putkikoolle sopivaksi. [12]

Loistevalossa saattaa esiintyä värinää lampun loisteaineen syttyessä ja sammuesssa jatkuvasti. Korvattaessa kuristin ja sytytin elektronisella liitäntälaitteella saadaan putki syttymään nopeammin ja valon värinä poistumaan. Kuten energiansäästölamppu, ei loisteputkikaan ole järkevä ratkaisu ulkovalaistukseen, koska se ei silloin välttämättä

anna täyttä valotehoa. Loistelamppu toimii energiansäästölampon tavoin myös parhaiten ahtaissa, umpinaisissa tiloissa lämmitessään kunnolla. Loistelamppujen avulla voidaan tuottaa myös epäsuoraa valoa. Tällöin valo ohjataan useimmiten heijastimen avulla katto- ja seinäpinnan kautta tilaan. Loisteputken tyypillinen elinikä on noin 15 000 h, mutta jopa 60 000 h kestäviä lamppuja on saatavilla. Valotehokkuus on noin 70–100 lm/W. Loisteputkea ei pysty himmentämään. Loisteputkista puhuttaessa törmää usein termeihin T8- ja T5-putki. T8-putki on tavallinen 26 mm paksu loisteputki magneettisilla kuristimella varustettuihin loisteputkivalaisimiin ja T5 energiatehokkaampi 16 mm paksu loisteputki elektronisella liitäntälaitteella varustettuihin loisteputkivalaisimiin. [12]



Kuva 8. Loistelamppu [13]

5.6 Elohopea-, monimetalli ja suurpainenatriumlamppu

Valonlähteitä, jotka voivat tavalliselle käyttäjälle olla vieraita ovat, tavallisesti teollisuuden- ja mm. tievalaistuksen käytössä olevat elohopea-, monimetalli- ja suurpainenatriumlamppu.

Elohopealampon rakenne muodostuu lasikuvusta ja sen sisällä olevasta kvartsilasisesta polttimosta eli purkausputkesta. Purkausputken sisässä on elohopeaa sekä pieni määrä argonkaasua, jotka höyrystyvät lampun palaessa ja aikaansaavat suuren paineen. Näin syntyy elohopeahöyryä, joka alkaa säteillä näkyvää valoa. Loisteainekerros lampun sisäpinnassa muuttaa lisäksi UV-säteilyä näkyväksi valoksi. EU on kieltänyt elohopealampon käytön vuodesta 2015 alkaen. Elohopealamppua ei voida käyttää

normaaleissa asuntovalaisimissa, sillä se vaatii liitäntälaitteilla varustetun valaisimen, eikä sitä voida kytkeä suoraan verkkovirtaan. Elohopealamppuja käytetään katu- ja tievalaistuksessa, ja niiden tyypillinen elinikä on noin 20 000 h ja valotehokkuus on noin 50 lm/W. [12]

Monimetallilampun rakenne ja toimintaperiaate ovat samankaltaisia elohopealamppun kanssa. Monimetallilampuissa purkausputkeen on lisätty eri metallien jodideja. Lampun palaessa jodit höyrystyvät ja alkavat tuottaa niille ominaista valon väriä. Kvartsisia isompitehoisia monimetallilamppuja käytetään lähinnä urheilutilojen, puistojen, torien ja aukioiden valaisimissa, missä luonnollinen värintoistokyky on tärkeässä asemassa. Sisävalaistukseen käytetään pienempitehoisia keraamisia monimetallilamppuja myymälöissä ja teollisuushalleissa. Monimetallilampun tyypillinen elinikä on noin 10 000 h ja valotehokkuus on noin 70–100 lm/W. [12]

Suurpainenatriumlamppu on kaasupurkauslamppu, jota voidaan käyttää vain valaisimissa, joissa on ko. lampulle tarkoitettu liitäntälaitte. Suurpainenatriumlamppua käytetään sen hyvän hyötysuhteen vuoksi mm. teiden, piha-alueiden, hallien ja kasvihuoneiden valaisemiseen, paikoissa joissa ei lampun värintoistokyvyllä ole niin suurta merkitystä. Valontuotto perustuu natriummetallin höyrystymiseen purkausputken sisällä sähkövirran vaikutuksesta. Tuloksena on lampulle tyypillinen oranssikeltainen valon väri. Suurpainenatriumlamppu on tänä päivänä yleisin valinta tievalaisimien valonlähteeksi. Sen tyypillinen elinikä on noin 20–32 000 h, ja valotehokkuus on noin 70–130 lm/W. [12]

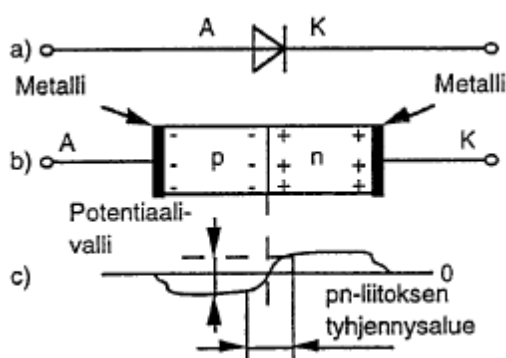


Kuva 9. Vasemmalta oikealle: elohopealamppu, monimetallilamppu ja suurpainenatriumlamppu. [13]

5.7 LED

LED on lyhenne englanninkielisistä sanoista Light Emitting Diode, joka tarkoittaa suomeksi valoa säteilevää diodia eli loistediodia. Se on puolijohdekomponentti, joka muuntaa sähköenergian valoksi. Tätä kutsutaan elektroluminesenssiksi. Loistediodi toimii tasavirralla (DC) ja vaatii yleensä erillisen liitäntälaitteen eli teholähteen. Teholähde muuttaa verkkojännitteen loistediodin kannalta optimaaliseksi.[14]

Itse valo syntyy elektronien pyrkimyksestä siirtyä tasapainotilaan. Loistediodissa on kaksi erilaista aluetta: n-johdealue, jossa on ylimääräisiä elektroneja, ja p-johdealue, josta elektroneja puuttuu. Raja-alueella – jota kutsutaan pn-liitokseksi tai rajapinnaksi – syntyy valoa, kun puolijohdeeseen kytketään tasavirta ja elektronien epätasapaino alkaa tasoittua niiden törmätessä toisiinsa, (kuva 10). [15]



Kuva 10. pn-diodi a) piirrosmerkki, b) periaatteellinen rakenne, c) potentiaali-jakauma, kun navat A (anodi) ja K (katodi) ovat yhdessä (jännite nolla) [16]

Valon väri eli spektri, riippuu loistediodin valmistusmateriaalista. Perusvärit ovat punainen, meripihkan oranssi, vihreä ja sininen. Valkoinen valo muodostetaan yleensä lisäämällä siniseen diodiin kerros fosforipohjaista loisteainetta. Fosforikerros muuntaa sinisen värin valkoiseksi eri lämpötilojen mukaan. Valkoisen valon laatuun vaikuttavat sekä valittu loistediodi että fosforin ominaisuudet. [14]

Loistediodi on fyysiseltä kooltaan erittäin pieni. Aktiivisesti loistava pinta on kooltaan vain 1-2 mm². Yhdellä loistediodilla saadaan hyvin harvoin riittävästi valoa, joten ne yhdistetään yleensä ryhmäksi, joka asennetaan LED-moduuliin, joita eri valaisinvalmistajat tekevät. [14]

5.7.1 Yleinen suhtautuminen LED-valaisimiin

Suhtautuminen LED-valaisimiin ja valonlähteisiin on ollut toistaiseksi hieman arkaa, johtuen siitä että ledeistä ei ole pitkiä käyttökokemuksia monellakaan kerrottavana ja suositeltavana. Ledien korkea hinta on ollut myös ongelmallinen yhdistettynä käyttökemusten puuttumiseen. Kaikilla on tänä päivänä kuitenkin jonkunlainen yleinen käsitys ledeistä ja tuskin kukaan on voinut välttymästä kuulemasta niistä ja niiden saapumisesta korvaamaan monia kodin valaisimia hehkulampun siirtyessä syrjään. Muutama vuosi sitten LED miellettiin vielä keskeneräiseksi tuotteeksi ja epäiltiin, millaisia vaikutuksia LED-valolla on ihmiseen pitkässä juoksussa.

LED kuitenkin kehittyä vauhtia ja ongelmia on saatu poistettua ja mm. valotehoa pystytty parantamaan. Nyt monessa kunnassa ja kaupungissa mietitään julkisten rakennusten valaisinten kohdalla, tulisiko siirtyä LED-valaisimiin energiansäästökustannuksien toivossa.[8]

Helsingin sanomien pääkirjoituksessa 4. lokakuuta 2012 mainitaan, että esim. Vantaan kaupungin valtuusto pakotti virkamiehet tekemään tarkemman selvityksen ledeistä, kun kukaan ei niistä tuntunut tarpeeksi tietävän. Haluttiin selkeä tiedonanto siitä, mitä ledeillä voidaan tehdä ja paljonko niillä voidaan saada säästöä aikaan, mutta siltikään asiaan ei saatu selkeätä vastausta. [15]

Ledin käyttöä perustellaan yleisesti seuraavilla elementeillä: pieni koko, suuri pintakirkkaus, pitkä elinikä, hyvä valontuotto alhaisissa lämpötiloissa, laaja värivalikoima, ei tuota lämpö- eikä UV-säteilyä, luja rakenne, valonjaon muokattavuus, välitön syttyminen, säädettävyys, alhainen jännite ja ennen kaikkea sen elohopean sisältämättömyyden vuoksi. [8]

5.7.2 Sovellusalat, edut ja ongelmat

LED-valaisimet eivät tarvitse käyttöaikanaan huoltoa juuri lainkaan, eikä valaisimien LED-yksikköä voi aina edes vaihtaa. LED-tekniikka säästää monissa organisaatioissa sekä aikaa että rahaa, koska valonlähteiden vaihtamiseen ei tarvita henkilökuntaa, eikä mahdollisia nostolaitteita. Likaantuminen on silti otettava huomioon myös LED-valaisimissa, niin sisällä kuin ulkona. Loistelamppuihin verrattuna LED-lampulla on monta etua. Yhtenä merkittävimmistä on niiden syttyminen välittömästi täyteen kirk-

kauteensa. Näin ollen esim. tiloissa, joissa lamppu sytytetään huoneeseen astuessa, tarjoaa LED huomattavasti paremman vaihtoehdon kuin hitaasti syttyvät loisteputket. [14]

LED-lamput ovat myös energiatehokkaampia kuin loisteputket, eivätkä sisällä loisteputkien tapaan ongelmajätettä ja vaarallista elohopeaa ja ovat näin helpommin kierrätettävissä. LED-lampuissa on kuitenkin yksi sama ikävä ominaisuus kuin pienloistelampuissa lämpö, vaikka LED ei sitä itse tuotakaan. Lamppua ei saa laittaa liian pieniin ja umpinaisiin valaisimiin, joissa ei ole tarvittavaa kulkutilaa jäähdytysilmalle. LED-lampun elektroniikka ja LED-elementit eivät kestä korkeita lämpötiloja käytännössä ollenkaan. [14]

Hehkulamppu kestää satojen asteiden käyttölämpötiloja, mutta ledille jo 80 astetta on liikaa ja tuhoaa ledin lopullisesti. LED-lamppu on lasipinnasta viileä, mutta kanta on käsin koskemattoman kuuma, koska LED ei säteile lämpöä. Se tuottaa pelkästään näkyvää valoa. Kantaosa lämpenee ledien ja virtalähteen tehohäviöiden johdosta. Lampun jäähdyttämiseen tarvitaan reilusti pinta-alaa, joka johtaa diodeissa syntyvän lämmön ympäröivään ilmaan.[14]

LED-valaisimen käyttöikä voi olla hyvin pitkä, jos sen rakenne on hyvin toteutettu ja se koostuu korkealaatuisista komponenteista. Loistediodi menee rikki erittäin harvoin. Loistediodien ongelmana on valovirran heikkeneminen. Niiden odotettavissa oleva elinikä määritellään valovirran perusteella, ja rajana pidetään 70 %:a uuden valaisimen valovirrasta. Elinikä merkitään tunnuksella L_{70} ja sitä seuraa tuntimäärä. Yleisesti käytetty LED-valaisimien elinikä on L_{70} 50 000 tuntia. Kun käyttöikä L_{70} on saavutettu, loistediodi tuottaa valoa vielä pitkään, mutta sen valovirta heikentyy jatkuvasti. Tämän vuoksi LED-moduuli tai koko valaisin on vaihdettava. 15–20 vuoden kuluttua käytettävissä on tekniikan kehityksen myötä energiatehokkaampia vaihtoehtoja, jolloin koko järjestelmän päivittäminen on todennäköisesti kannattavin ratkaisu. [8]

5.7.3 Sisätilojen valaistus

Julkisissa tiloissa, kuten toimistoissa ja kouluissa LED-tekniikkaa on tähän mennessä käytetty lähinnä korostus- ja kohdevalaistukseen tai eriväristen tehosteiden luomiseen. Tässä käytössä ledit ovat korvanneet pienjännitteellä toimivat halogeenilamput. Nyt ledejä voidaan käyttää myös yleisvalaistukseen. Ledit ovat ohittaneet perinteiset valaistusratkaisut niin valon laadun, energiatehokkuuden kuin kestävyyskin suhteen. Nyt LED-valaisimilla voidaan useassa kohteessa korvata downlight-valaistus sekä upotettavat T5-ratkaisut toimisto- ja neuvottelutiloissa, auloissa ja käytävillä. Valaisimien uusi heijastin- ja häikäisysuojatekniikka pystyy hyödyntämään ledien suuret valovirrat tavalla, joka säilyttää oleskelun ja työskentelyn näissä tiloissa edelleen miellyttävänä. [8]

Ledit ovat usein myös paras vaihtoehto esimerkiksi taideteosten, erilaisten esineiden tai elintarvikkeiden korostamiseen, koska ledien tuottama valo ei sisällä UV- tai IR-säteilyä. Ledit sopivat lisäksi erilaisten viihdekäyttöön tarkoitettujen tilojen valaisemiseen. LED-tekniikka on vaikuttanut myös positiivisesti valaisimien muotoiluun. Pieni koko tarjoaa valaisinvalmistajille loputtomasti mahdollisuuksia uusien mielenkiintoisten ratkaisujen luomiseen. [8]

5.7.4 Ulkotilojen valaistus

Ulkovalaisimet ovat sään ja lämpötilojen armoilla ja niiden huoltamiseen tarvitaan usein erikoisjärjestelyjä. Tästä syystä voidaan todeta, että LED-tekniikka on optimiratkaisu ulkovalaistukseen Suomen oloissa. [8]

Ledien käyttö näissä valaistusratkaisuissa on sekä käytännöllinen että taloudellinen vaihtoehto. Valonlähteen pitkä käyttöikä vähentää huollon tarvetta. Myös viileät lämpötilat vaikuttavat ledien elinikään positiivisesti. Viileät ympäröivät olosuhteet lisäävät ledien valovirtaa ja pidentävät niiden käyttöikää. Kun valaisimien rungot lisäksi valmistetaan alumiinista, tuloksena syntyy erittäin kestäviä ja toimintavarmoja valaisimia, joita ei juuri tarvitse huoltaa käyttöaikanaan. Lisäksi ne ovat energiatehokkaita. [8]

6 Loistevalaisimien korvaaminen LED-valonlähteillä

Loistevalaisinta on totuttu käyttämään tiloissa, joissa tarvitaan paljon valoa tai joissa lamppuja pidetään pitkään päällä. Tällaisissa tiloissa tarvitaan valonlähteeksi varma ja pitkäkestoinen valonlähde. Luokkahuoneessa valoja yleisesti pidetään koko päivän päällä ja tämän tutkielman laskelmissa on käytetty polttoaikana 10 h/päivä. Näistä syistä myös luokkahuoneessa on totuttu käyttämään loistevalaisimia.

Markkinoilta on jo muutaman vuoden ajan löytynyt LED-valoputkia, joiden on ajateltu voivan korvata perinteiset, liitäntälaitteella toimivat T8-loistelamput (26 mm) energiatehokkaampana sekä ylläpitokustannuksiltaan edullisempänä vaihtoehtona. Valonlähteiden vaihtaminen LED-loistelamppuihin näissä valaisimissa tuotti kuitenkin ikävän yllätyksen, kun Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) totesi vuonna 2010 silloisissa markkinoilla olleissa LED-putkissa erittäin vakavia puutteita. Lampun vaihdon yhteydessä oli mahdollista saada sähköisku vapaan putken pään ollessa jännitteellinen. Tämä sama ongelma esiintyi kaikissa testatuissa LED-putkissa. [17]

Tukesin tutkimuksissa todettiin, että alun perin loistelampuille suunnitellut valaisimet eivät välttämättä toimi hyvin LED-valoputkella. Joidenkin tällaisten valonlähteiden rakenne osoittautui jopa niin vaaralliseksi, että niitä jouduttiin vetämään kokonaan pois markkinoilta. [18]

Nyt markkinoille ovat kuitenkin tulleet ns. toisen sukupolven ja joidenkin valmistajien kolmannen sukupolven LED-valoputket, joissa aikaisemmin Tukesin toteama ongelma on korjattu kehittämällä lediputkille oma sytytin, joka toimii sulakeperiaatteella. Useat eri yritykset ovatkin saaneet uusille tuotteilleen hyväksynnän patentti- ja rekisterihallituksesta, ja aikaisemmin todettua vapaan putken pään jännitteellisyys turvallisuusriskiä ei näissä tuotteissa enää esiinny.

Perinteinen loisteputki korvataan lediputkella ja sytytin korvataan lediputkille tarkoitettulla 'led sytyttimellä' [19].

6.1 Riittääkö pelkkä valonlähteen vaihtaminen?

Jos LED-investoinnin taloudellisuutta tarkastellaan lyhyellä aikavälillä, vanhojen valaisimien säilyttäminen ja vain valonlähteen vaihtaminen ledeiksi voi tuntua järkevältä vaihtoehdolta, sillä LED-putkea markkinoidaan 70 %:n energiansäästöllä ja jopa 5 kertaa pidemmällä käyttöiällä. Julkisissa tiloissa on tänäkin päivänä käytössä erittäin paljon perinteisillä T8-loisteputkilla varustettuja valaisimia, joihin voisi energiatehokkaammat LED-valoputket vaihtaa. Paineet energiankulutuksen pienentämiseen ovat erittäin kovat.

Suomen valoteknillisen seuran puheenjohtajan Tapio Kallasjoen [21] mielestä LED-valaisimet soveltuvat hyvin poistuvien hehku- ja halogeenilamppujen korvaajiksi. Markkinoilta löytyykin useita ns. retrofit-valonlähteitä, jotka on tarkoitettu tällaiseen käyttöön.

Retrofit"-ledilampulla tarkoitetaan LED-lamppua, jolla voidaan korvata valaisimesta esimerkiksi hehku- tai halogeenilamppu [20].

Ne on kehitetty korvaamaan mm. maksimissaan 50 W:n kylmäsädehalogeenilamput (HRGI) sekä muuntityypisiä halogeenilamppuja. Osa niistä tarjoaa mahdollisuuden myös valonsäätöön. Nämä valonlähteet voivat toimia hyvin silloin, kun valon voimakkuudelta, laadulta ja teholta ei odoteta huippulaatua, kuten esimerkiksi kotikäytössä. Kallasjoki ei kuitenkaan pidä hyvänä ajatuksena loistelamppujen korvaamista lediputkilla ylävalokomponenteilla varustettuihin valaisimiin, koska lediputket eivät ole ympärisäteileviä valonlähteitä kuten loistelamput. Ylävalokomponentilla varustetun valaisimen antama ylävalo menetetään tällöin kokonaan. Samoin Kallasjoki huomauttaa, että LED-valoputkea ei saa myydä nimityksellä korvaava lamppu, jos se poikkeaa ominaisuuksiltaan korvattavasta lampusta. [21]

Myös ympärivalaisevia LED-lamppuja alkaa jo olla saatavilla. Jos lamppu on ympärisäteilevä, se on kerrottu pakkauksessa. [20]

6.2 LED-loistelampulle ei ole tuotestandardia

Vanhaan loisteputkivalaisimeen asennettaessa LED-valoputki siirtyy tuotevastuu valaisimesta sille, joka asennuksen tekee. Näille ns. retrofit-valonlähteille ei ole tällä hetkellä omaa tuotestandardia, eivätkä ne kuulu myöskään loistelamppustandardin piiriin. Tämä aiheuttaa teknisiä ongelmia, muuttaa hyväksytyn valaisimen rakennetta ja vaikut-

taa alkuperäisiin valaistussuunnitelmiin. On myös hyvä muistaa, että CE-merkintä edellyttää laitteen testaamista, johon vain harvoilla on mahdollisuus. EU:n Ecodesign-sääntelykomitea antoi määräyksen LED-putkien valmistajille, että syksystä 2013 alkaen heidän on laitettava verkkosivuilleen varoitus, jossa todetaan, että LED-putkilla toteutetun valaistusasennuksen energiatehokkuus ja valonjako riippuvat kussakin tapauksessa järjestelmän suunnittelusta. [8]



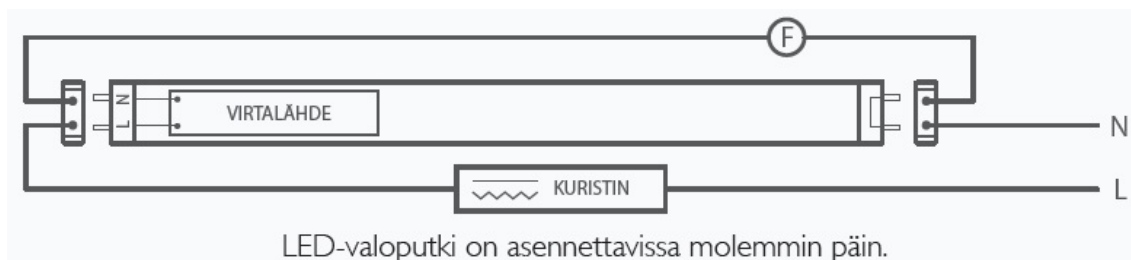
Kuva 11. LED-valoputkia [19]

6.3 Tekninen selostus loisteputkien vaihdosta LED-putkiin

T8-loisteputken vaihtoehtoiseksi LED-valoputkeksi on ainakin kahta eri tyyppiä. Retrofit mukainen valoputki voidaan asentaa vanhan loisteputken tilalle yhteensopiviin valaisimiin sellaisenaan valmistaja- ja putkimallikohtaisia rajoituksia noudattaen. Perinteisillä kuristimilla varustetuissa valaisimissa vaihto toteutetaan vaihtamalla ainoastaan sytyttimen tilalle LED-käyttöön tarkoitettu sulake ja poistamalla kompensointi- tai häiriösuojakondensaattorit. Mikäli kondensaattoreita ei poisteta, aiheutetaan verkkoa kuormittavaa kapasitiivista loistehoa. [8]

Valtavalon LED-valoputken kanssa käytettävässä valaisimessa saa olla vain magneettinen virranrajoitin eli kuristin ja LED-sytytin (F), joka korvaa loisteputken sytyttimen [22].

Häiriönpoistokondensaattoreista ei ole yhdessä LED-valoputken kanssa havaittu olevan ongelmaa, mutta LED-valoputken kanssa samassa sähköisessä piirissä olevat isommat induktiivisen loissähkön kompensointiin tarkoitetut kondensaattorit on syytä poistaa, koska LED-valoputki itsessään on kapasitiivinen kuorma. [22]

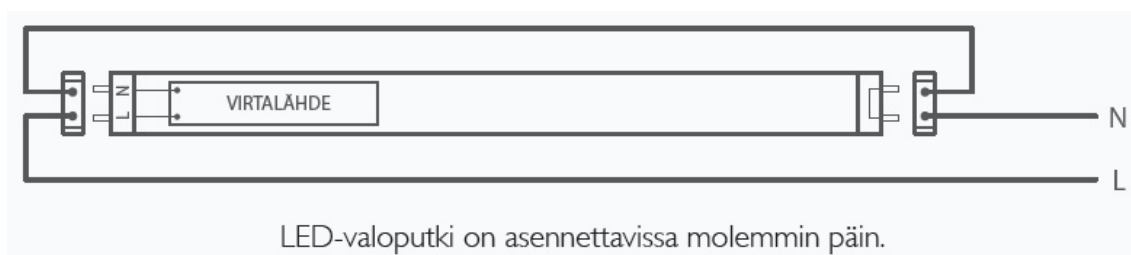


Kuva 12. Ohje G3 LED -valoputken sähköisestä kytkennästä. [22]

Elektronisilla liitäntälaitteilla varustetuista valaisimista liitäntälaitteet on poistettava tai ohitettava. Toimenpide vaatii sähkömiehen tekemään muutokset ja valaisimille on tehtävä tarkastus kytkentämuutoksista johtuen. Mahdollinen palauttaminen loisteputkikäyttöön vaatii kytkentöjen palauttamisen. Valaisin on myös muutoksen jälkeen merkittävä, että valaisimeen on tehty muutoksia ja siihen ei saa asentaa enää perinteistä loisteputkea. Ratkaisuna voidaan käyttää tarraa, joka asiasta varoittaa/kertoo. [8]

Mikäli valaisinta modifioidaan, täytyy sille suorittaa vaatimustenmukaisuus-tarkastelu ja CE-merkitä se uudelleen. Samalla syntyy uusi sähköinen laite ja alkuperäisen valaisinvalmistajan vastuu laitteen toiminnasta lakkaa. [22]

Valtavalon G3 LED-valoputki on testattu ja hyväksytetty sellaisenaan yhteensopivaksi verkkojännitteessä, joten alla olevan kuvan mukaiset kytkennät ovat turvallisia ja tuotteelle spesifioituja [22].

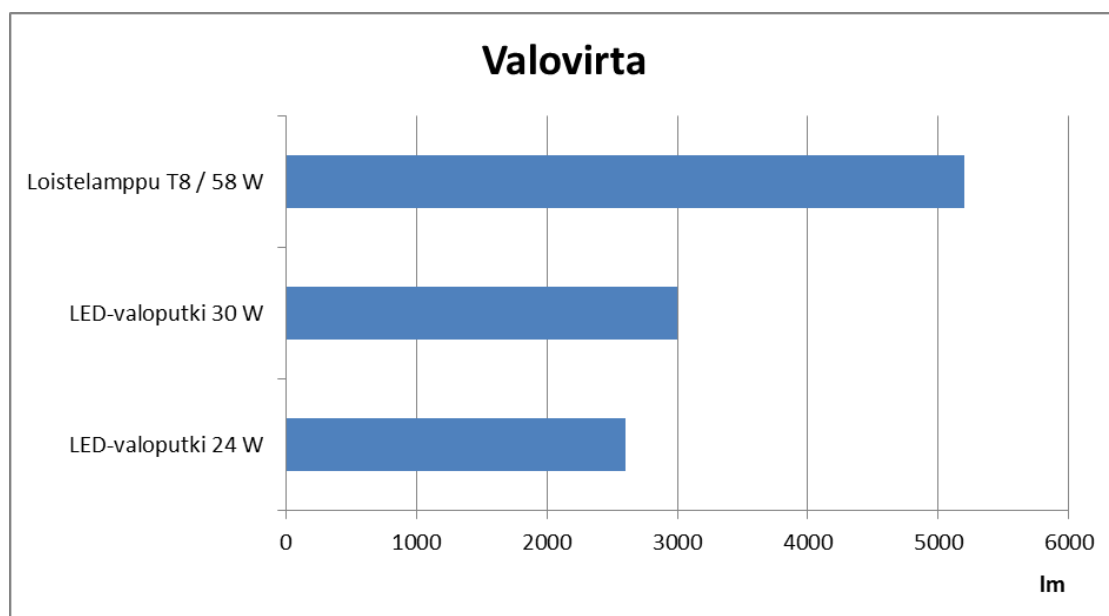


Kuva 13. Ohje sähköisestä kytkennästä riisuttuun/modifioituun valaisimeen [22].

6.4 Vertailu loistelamppujen ja lediputkien välillä

Tavallinen loisteputkivalaisin, jossa on kuristin ja sytytin, toimii 50 Hz:n verkkojännite-taajuudella. Valo kulkee edestakaisin lampun päästä päähän. Valon värinä on lampun keskellä 100 Hz ja lampun päädyissä 50 ja myös 100 Hz. Lampun loisteaine syttyy ja sammuu jatkuvasti, jolloin seurauksena on värisevä valo. Käytännössä lamppu on sammuneena 100 kertaa sekunnissa, tämä välkyntä saattaa lisätä virheitä keskittymistä vaativassa työssä sekä aiheuttaa päänsärkyä tai silmien rasittumista. Käytettäessä elektronista liitäntälaitetta valaisimissa tätä ongelmaa ei ole. Elektroninen liitäntälaitte nostaa taajuuden n. 30 kHz:iin tai korkeammalle. Se korvaa sytyttimen, kuristimen ja sillä saavutetaan energiansäästöä korkeamman taajuuden antaessa enemmän valoa. [13]

58 W:n loisteputken tuottama valovirta on 5 200 lm ja tämänhetkisten LED-putkien vastaavat arvot ovat 24 W ja 2 600 lm tai 30 W ja 3 000 lm (kuva 14). Loisteputkikäytössä ottoteho on kuristinhäviöineen n. 71 W, LED käytössä pienentynyt teho pudottaa kuristinhäviöt 1–2 wattiin. Loisteputkien valotehokkuus on n. 75 lm/W ja ledien n. 110 lm/W. [8]

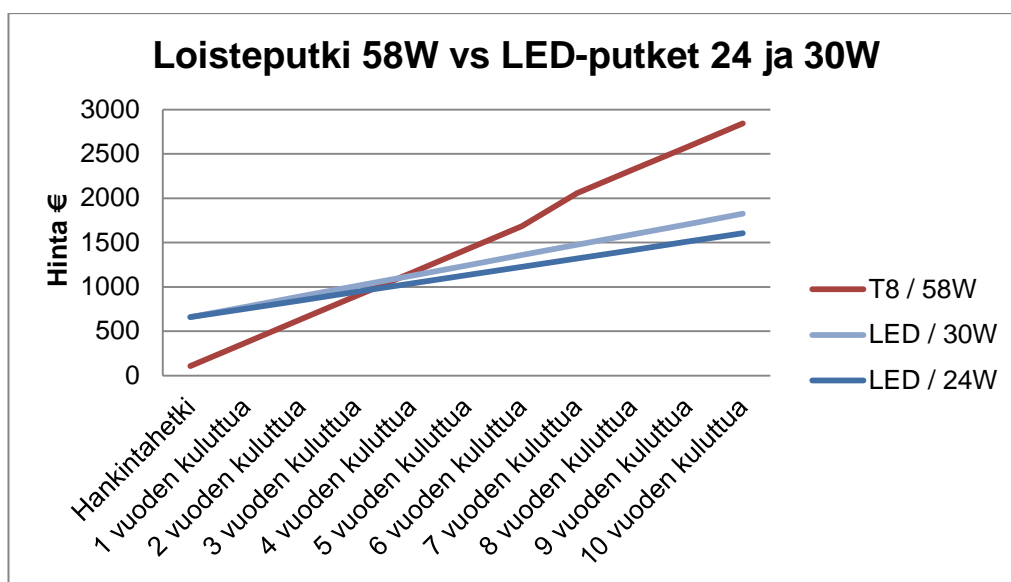


Kuva 14. Vertailu valovirtojen osalta loisteputken ja LED-valoputkien väliltä

6.5 Kustannusvertailu

LED-putket ovat selvästi kalliimpia kuin perinteiset loisteputket, ero on noin kymmenkertainen. Ledien käyttöikä on toisaalta lähes 3 kertaa loisteputkia pidempi, noin 50 000 tuntia verrattuna loisteputkien 18 000 tuntiin. Säästöä syntyy näin myös lampunvaihtokuluissa.[8]

Otetaan vertailtavaksi tämän tutkielman luokkahuone 234. Tilassa on tällä hetkellä kuusi valaisinta, joissa kussakin kaksi loisteputkea. Vertaillaan valaisimissa nykyisin olevia 58 W:n T8-loisteputkia 24 ja 30 W:n LED-valoputkiin (kuva 15). Loisteputkilla ensimmäinen lampputen vaihto esitetyillä polttoajoilla tulee vastaan seitsemän vuoden kuluttua, kun LED-putkilla 20 vuoden päästä.



Kuva 15. Graafisesti esitettynä loisteputken ja LED-putkien kustannusvertailu.

Taulukko 6. Laskentaan perustuvat perustiedot.

| Valonlähde | Teho W | Polttoaika h/a | Lukumäärä kpl | Hinta €/kpl | Sähkö €/kWh | Energiakustannus. €/a |
|-------------|--------|----------------|---------------|-------------|-------------|-----------------------|
| Loisteputki | 58 | 2500 | 12 | 9,00 | 0,122 | 258,86 |
| LED-putki | 24 | 2500 | 12 | 55,00 | 0,122 | 91,5 |
| LED-putki | 30 | 2500 | 12 | 55,00 | 0,122 | 113,46 |

7 Valaistusvaatimukset oppilaitoksessa

Valaistuksen laadulliset ja määrälliset vaatimukset esitetään standardissa SFS-EN 12464-1. EU-mailla on ollut yhteinen työpaikkojen valaistusta koskeva standardi käytössä vuodesta 2003 lähtien. Standardissa määritellään mm. työtasoilla, näyttöpäätetyötiloissa sekä työpisteen välittömässä läheisyydessä vaadittavan valaistuksen määrä ja laatu. Standardi määrää seinien alimmaksi keskimääräiseksi valaistusvoimakkuudeksi vähintään 50 lx tasaisuuden U_0 ollessa $\geq 0,1$. Katossa vastaavien lukujen tulee olla vähintään 30 lx ja tasaisuuden $\geq 0,1$. [10]

Seinien ja katon tulee olla valoisampia toimistojen, koulutustilojen ja hoitohuoneiden kaltaisissa tiloissa sekä kohtaamistiloissa, kuten sisääntuloauloissa, käytävillä ja portaikoissa. Näissä tiloissa suositellaan korkeampaa keskimääräistä valaistusvoimakkuutta, ja pinnoilla tulee toteutua seuraavat arvot:

Seinät – keskimääräinen valaistusvoimakkuus vähintään 75 lx ja tasaisuus $\geq 0,1$.
Katto – keskimääräinen valaistusvoimakkuus vähintään 50 lx ja tasaisuus $\geq 0,1$.

Standardi ei määrittele valaistusvaatimuksia koskien turvallisuus ja terveysasioita, joten se ei ole yhdenmukainen EU:n työturvallisuusedirektiivin kanssa, standardin valaistusvaatimukset kuitenkin yleensä täyttävät turvallisuusvaatimukset. Standardissa ei esitetä suunnittelun ratkaisumalleja, ei puututa suunnittelijan näkemyksiin suunnitteluratkaisussa eikä määritellä, miten valon voi tuottaa. [6, s.10]

7.1 Luokahuonevalaistus

Vaaditun valaistusvoimakkuuden lisäksi on tärkeää huomioida myös laadulliset ja määrälliset tarpeet. Valoteknisesti päätavoitteena valaistussuunnittelussa tulee olla hyvä näkyvyys ja näkömukavuus. Myös näkötehokkuus ja turvallisuus on otettava huomioon määritettäessä valaistusta.

Tutkimusten mukaan hyvä valaistus todella parantaa opiskelun tehokkuutta kouluissa. (Fagerhultin tutkimuspäällikkö Tommy Govén [10])

Näkömukavuudella tarkoitetaan sitä, miten ihmiset hyväksyvät näköolosuhteet. Näkömukavuus työympäristössä vaikuttaa positiivisesti työssä viihtymiseen, minkä seurauk-

sena työn tuottavuus ja laatu paranee. Näkötehokkuus parantaa näkötehtävää ja auttaa suoriutumaan työtehtävästä myös vaikeissa olo-suhteissa sekä pitemmän aikaa. Turvallisuus syntyy riittävästä valaistuksesta. [6]

7.2 Luokkahuone 234: nykytilanne

Insinööriyön teon aloituksessa sovittiin, että oppilaitoksesta valitaan yksi tyypillinen luokkahuone/opetustila, jota lähdetään tutkimaan. Tähän tilaan tehdään myöhemmässä vaiheessa tutkielman lopputuloksen mukainen malliasennus. Malliasennuksella saadaan selville todelliset kustannukset, asennukseen kuluvat ajat sekä käyttökokeemukset. Näiden pohjalta voidaan tehdä päätös siitä, onko järkevää siirtyä oppilaitoksen kaikissa opetustiloissa uuteen valaistukseen. Mäkelän koulun edustaja Teemu Mikkola määrittä luokkahuoneen, johon malliasennus voitaisiin myöhemmin tehdä. Ennen uusien suunnitelmien ja malliasennuksen tekoa oli kuitenkin kartoitettava luokkahuoneen nykytilanne ja se, minkälaisesta tilanteesta lähdetään oppilaitoksen luokkahuoneiden valaistustapaa mahdollisesti parantamaan.

Tämän tutkielman tutkittavana tilana on luokkahuone 234 oppilaitoksen toisessa kerroksessa. Luokkahuone on pinta-alaltaan 59 m². Tilan nykyiset sähköasennukset ovat vuodelta 1995, jolloin rakennukseen on tehty viimeisin peruskorjaus. Valaisimet ovat myös vuoden 1995 malleja. Valaisimet ovat Thorn Orno -valmistajan valaisimia. Nykyään Thornin valaisimia edustaa Suomessa Alppilux Oy.

Taulukko 7. Nykytilanteen valaisimet

| Valmistaja | Tyyppi | Teho | Asennustapa | Lukumäärä |
|------------|-------------------------|---------|---------------|-----------|
| Thorn Orno | Tauluvalaisin FOND 36KK | TCD36/4 | Kosketinkisko | 2 |
| Thorn Orno | Loisteputki IQLn258sYV | 2T58 | Ripustuskisko | 6 |

Oppilaitoksen käyttöpäivät vuodessa ovat 250 päivää. Yhden päivän aikana valaistusta pidetään päällä noin 10 tuntia.

Taulukko 8. Nykytilanteen valaisimien tehot ja käyttöajat

| Valaisin | Lukumäärä kpl | Teho W | Lamppuja kpl | Kokonaisteho (kuristintehot) W / kpl | Käyttöaika h/a |
|------------|------------------|--------|-----------------|--|-------------------|
| Tauluvalot | 2 | 36 | 1 | 46 | 2500 |
| Kattovalot | 6 | 58 | 2 | 71 | 2500 |

Lasketaan luokkahuoneen 234 lamppujen kokonaistehot:

- Tauluvalaisimet $2 \times 46 \text{ W} = 92 \text{ W}$
- Kattovalaisimet $2 \times 6 \times 71 \text{ W} = 852 \text{ W}$
- Luokkahuoneen lamppujen kokonaisteho: 944 W

Luokkahuoneen 234 kulutettu energia W saadaan laskettua kaavalla (3)

$$W = P * t$$

,jossa

W on kulutettu energia, Wattituntia, (Wh)

P on kokonaisteho, Wattia, (W)

t on aika, tuntia,(h)

Sijoitetaan tehot ja käyttöajat kaavaan:

$$W = 944 \text{ W} * 2500 \text{ h} = 2\,360\,000 \text{ Wh} = 2360 \text{ kWh}$$

Luokkahuoneen 234 kuluttama energia vuodessa on 2360 kWh.

7.3 Mittaukset ja ohjaukset

Nykyistä valaistusjärjestelmää arvioidaan sisävalaistusstandardin, oma-arvioinnin, valaistusvoimakkuusmittauksien ja henkilökunnan arvioiden kautta.

Kohteessa suoritettiin perjantaina 23.11.2012 aamupäivällä valaistuksen nykytilanteen kartoitus. Kartoituksessa tutkittiin nykyisien valaisimien tyypit, asennuskorkeudet, asennustavat ja valaisimien tehot sekä mitattiin Chauvin Arnoux 810 -lux-mittarilla nykyisien valaisimien antama valaistusvoimakkuustaso.

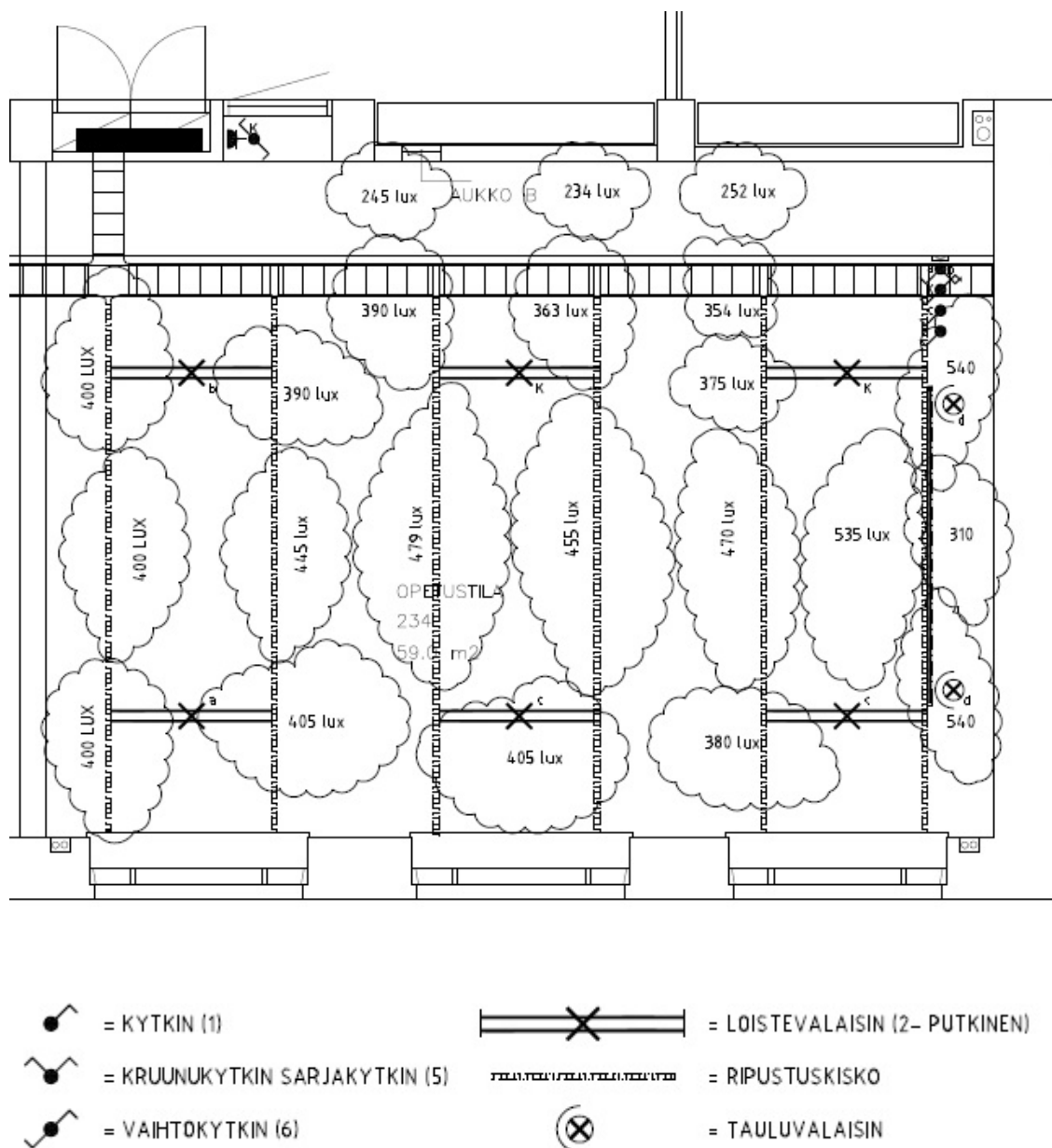
Loisteputkivalaisimet teholtaan 2 x 58 W ovat kahdessa rivissä kiinnitettyinä valaisimien päistä ripustuskiskoon, korkeudelle 3050 mm. Tauluvalaisimet teholtaan 36 W ovat asennettu omaan kosketinkiskoon, joka on kiinnitetty ripustuskiskoon luokan etuosassa korkeudelle 3 000 mm.

Valaistustasot mittauksissa olivat kelpollisia standardin EN 12464-1 määritysarvoihin tietyissä osin luokkatilaa. Keskimääräinen valaistusvoimakkuus luokan keskiosassa oli noin 400 luksia työtason korkeudella 720 mm. Ikkunanvastaisella seinämällä valaistustasot olivat huomattavasti heikommat, johtuen ilmanvaihtokanavista, joiden alapuolelle ei ole asennettuina valaisimia. Kanaviston alapuolella oli kuitenkin työpöydät, joten näillekin työpöydille tulisi saada sama valaistustaso. Valaistustasot kanaviston alla olivat keskimäärin noin 300 luksia, tosin aivan seinän reunassa alhaisimmillaan 234 luksia.

Standardi EN 12464-1 määrittää luokkatilan valaistustasoksi 300 luksia, joten riittävä valaistusvoimakkuus on saavutettu nykyisillä valaisimilla helposti luokkatilan keskiosalla, mutta seinän vierustalla ei aivan päästä standardin vaatimiin lukemiin. Jos oppilaitoksessa järjestetään iltaopetusta, tai aikuisopetusta tulisi standardin mukaan valaistustason olla 500 luksia, tätä vaatimusta nykyvalaistus ei täytä. Standardi määrittää, että luokkatilan valaistus tulisi olla säädettävissä. Tätäkään vaatimusta ei nykyvalaistus täytä. Valaistusta ohjataan vain päälle/pois-periaatteella.[6]

Taulun- ja luokan etuosassa valaistustasot olivat keskimäärin 480 luksia. Taulun laidoilla mitattiin 540 luxia ja keskellä taulua 390 luksia. Standardin suositus on 500 luksia.[6]

Kuvassa 16 on esitetty nykytilanteen toiminta. Valaistusta ohjataan luokkahuoneen sisäänkäynnin luota vaihtokytkimellä (vaihtokytkin 6), joka sytyttää kaksi valaisinta kul-kureitille kohti opettajanpöytää. Opettajalla on oman työpöytänsä läheisyydessä tilan varsinaisen valaistusohjauksen kytkimet. Luokan takaosan kahdelle valaisimelle on oma kruunukytkimensä (sarjakytkin 5), jolla voidaan sytyttää jompikumpi valaisimista tai molemmat. Luokan ikkunarivin valaisimet sytytetään omasta kytkimestä (kytkin 1), samoin kuin opetustilan kahdelle tauluvalaisimelle on oma kytkimensä (kytkin 1).



Kuva 16. Opetustila 234:n nykyiset asennukset ja valaistusvoimakkuustasot ja piirrosmerkkien selostus

7.4 Oma arviointi nykytilanteesta

Tilaan saapuessa näkymä oli hyvin tyypillinen aikansa mukaisista luokkahuoneista ja 90-luvun saneerauskohteista. Valaisimet ovat 90-luvun tapaan aika kulmikkaita ja laattikomaisia verrattuna tämän päivän hyvinkin muotoiltuihin valaisimiin. Luokkahuone ja sen valaisimet olivat siistissä kunnossa, ja valaistus tuntui tilaan riittävältä. Valaistuksen ohjaus oli toteutettu tilaan järkevällä tavalla. Valaistuksen säätö tuohon aikaan ei oppilaitoksissa ollut vielä yleistynyt, joten sen puutteen tämän päivän standarditasosta ymmärtää varsin hyvin.

Lähtötilanteesta oli erittäin mielenkiintoista lähteä tekemään uusia DIALux-laskelmia tämän päivän valaisimilla. Laskelmissa on otettu huomioon iltaopetus tai aikuisopiskelijat ja pidetty vaadittavana valaistustasona 500 luksia, jota voidaan säätää pienemmäksi päiväopetustilanteisiin.

7.5 Henkilökunnan arviointi nykytilanteesta

Henkilökunnalle tehtiin liitteenä 1 oleva kysely nykytilanteesta. Vastausten perusteella tuli ilmi mm. seuraavia seikkoja:

- Nykyiseen järjestelmään, valon määrään ja laatuun ollaan yleisesti tyytyväisiä.
- Läsnaolo-ohjausta pidettiin merkittävänä uutena seikkana.
- Päivänvalon saanti luokkahuoneeseen jakoi mielipiteitä.
- Energiansäästöstä ollaan yleisesti kiinnostuneita.
- Valaistuksella uskotaan olevan suuri merkitys oppilaiden jaksamiseen ja vireystasoon.

8 LED-valaistuksenohjausratkaisut luokkahuone 234

8.1 Valaistuksen ohjaus

Korkealaatuista LED-valaistusta voidaan hyvin säädellä erilaisten valonohjausjärjestelmien avulla. Kirkkauden, aikaohjauksen, päivänvalon ja läsnäolon ohjaamisen lisäksi tekniikka tarjoaa aivan uusia valon väriin vaikuttavia säätömahdollisuuksia.

Ledejä säädetään ammattisovelluksissa nk. pulssinleveysmodulaation (PWM) avulla. Kyseisessä tekniikassa kuormaa syötetään vaihtuvataajuisella kanttiaallon muotoisella jännitteellä. Kuorma sytytetään ja sammutetaan suurella taajuudella, joka koetaan valotason muutoksena. PWM-ohjaimissa voi olla useita erilaisia käyttöliittymiä, kuten DALI, DSI, DMX ja SwitchDIM. PWM-yksiköitä on saatavana myös erillisinä yksiköinä, jotka voidaan kytkeä vakiojännitelähteen ja kuorman väliin. [8]

Ensisijaisesti valaistuksen ohjaus- ja säätöjärjestelmä valitaan käyttäjän tarpeen mukaan. Tarve määrittelee halutun ohjaustavan. Suunnitellessa kohteen valaistuksenohjausjärjestelmää voidaan yleisimmät ongelmakohdat välttää, kun suunnitelmien lähtökohtana pidetään mahdollisimman helppokäyttöistä järjestelmää myös satunnaiselle käyttäjälle. Suunnitellaan myös valaistusohjaustilanteet eikä vain tilanneohjauksen teknistä suunnittelua. Nimetään valaistustilanteet selkeästi, jotta käyttäjä löytää tarvettaan vastaavan ohjauksen mahdollisimman luontevasti. [23]

Tässä tutkielmassa esitellään valaistuksenohjaus vain DALI-järjestelmällä, sillä mielestäni se on paras ratkaisu tämänlaiseen kohteeseen, ja järjestelmä on itselleni kaikista tutuin aikaisemmin luetelluista vaihtoehdoista. DALI-järjestelmän käyttö oppilaitoksissa on yleistynyt rajusti viime vuosina. mm. Helvar Oy:n vuoden 2012 DALI-järjestelmien myynnistä suurin osa (36 %) meni oppilaitosten käyttöön. [24]

Tässä tutkielmassa ei oteta muihin järjestelmiin kantaa muuten kuin käsitteen tasolla.

8.1.1 Läsnaolo-ohjaus

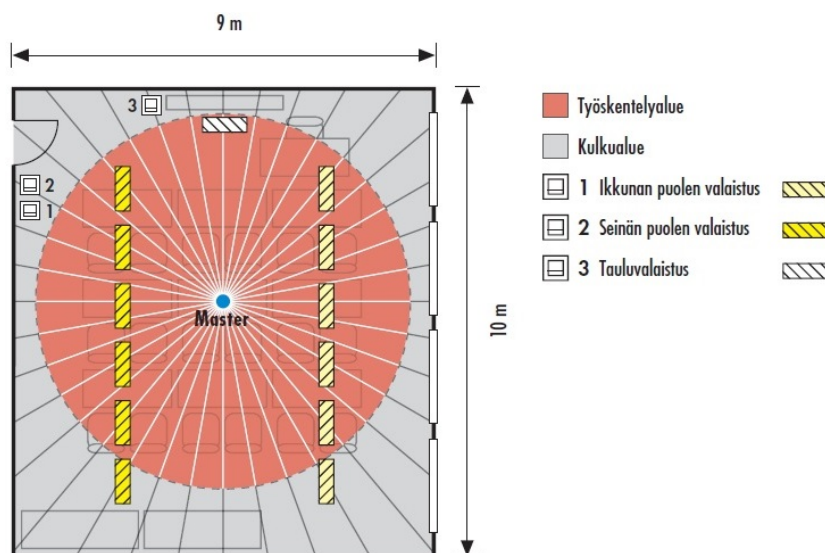
Koulurakennuksissa valaistus saattaa helposti unohtua päälle pitkiksi ajoiksi, jolloin sitä ei tarvita, esimerkiksi välitunneiksi ja lounasaikaan. Läsnaolotunnistimien avulla voi-

daan valaistusta pitää päällä vain, kun sitä todella tarvitaan. Läsnaöloanturin avulla voidaan joko sammuttaa valot, kun tilassa ei oleskella ja sytyttää valot takaisin, kun tilaan saavutaan tai läsnäoloanturin avulla voidaan valaistus himmentää pienelle tasolle ennen valojen kokonaan sammuttamista. Läsnaöloanturin asennus voidaan tehdä katto- tai seinäasennuksena tai se voidaan integroida valaisimeen. Läsnaöloantureihin on nykyään myös yhdistetty valoisuusanturiominaisuus, jolla voidaan estää valaistuksen sytyttäminen, jos tilassa on riittävästi ikkunoiden kautta saatavaa luonnonvaloa. [25]



Kuva 17. Esylux Oy:n 3-lla kanavalla varustettu läsnäoloilmaisim [25]

Loistelampuille liian useat sytyttämiset ovat kuitenkin haitallisia. Useat sytytykset kuluttavat lamppeja. Tämän vuoksi läsnäolotunnistimiin on syytä asettaa toimintaviive, jolla ehkäistään valojen tarkoituksetonta sammumista. Lamppujen himmentäminen ensin pienemmälle valaistustasolle ennen sammuttamista on lamppujen säästämiseksi hyvä ratkaisu. [23]



Kuva 18. Valaistuksen ohjaus Esylux Oy:n 3-kanavaisella läsnäoloilmaisimella [25]

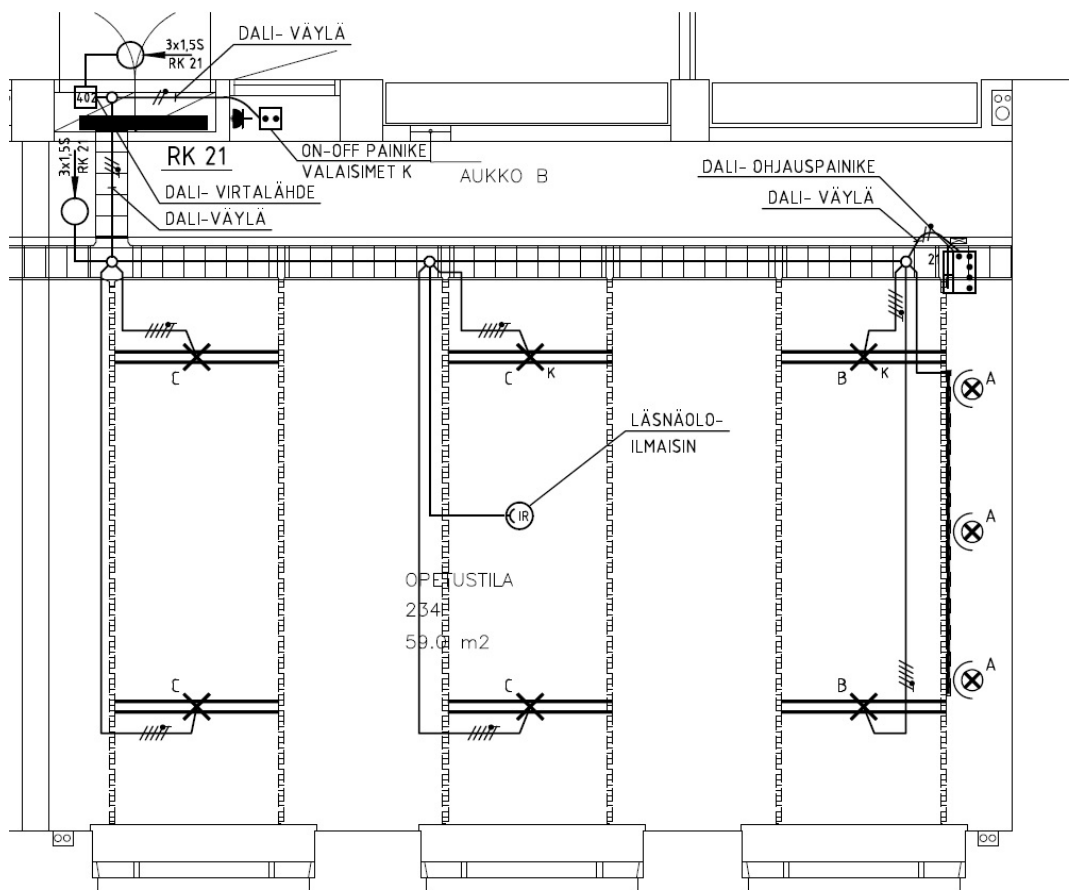
8.1.2 Päivänvalo-ohjaus

Standardin SFS-EN 12464-1 mukaan työtason valaistus voidaan tuottaa kokonaan tai osittain päivänvalon avulla. Päivänvalon voimakkuus ja koostumus vaihtelevat kellonajan ja vuodenajan mukaan. Päivänvalon määrä pienenee kauempana ikkunasta ja lisäksi tarvitaan keinovalaistusta. Standardin mukaan sopivan päivän- ja keinovalon yhdistelmän luomiseksi voidaan käyttää joko automaattista tai käsikäyttöistä ohjausjärjestelmää. Luonnonvalo on tärkeä valonlähde erityisesti huoneiden ikkunanpuoleisella reunalla. Vakiovalo-, läsnäolo- ja päivänvalo-ohjausta voidaan käyttää myös samanaikaisesti.[6]

8.1.3 DALI-ohjausjärjestelmä luokahuoneessa 234

DALI-järjestelmän perusajatuksena on, että jokaista liitäntälaitetta voidaan ohjata yksilöllisesti, mutta järjestelmään tarvitaan kuitenkin vain yksi ohjauskaapeli kaikille liitetyille laitteille. DALI-järjestelmällä pystytään muun muassa keräämään tietoa järjestelmän tilasta (esimerkiksi palanut lamppu, laitteen tyyppi), himmentämään valaistusta logaritmisesti ja kytkemään valot päälle ilman erillistä kytkinlaitetta. Alun perin DALI on kehitetty nimenomaan loistelamppujen ohjaamista varten, mutta nykyisin DALI-järjestelmään on mahdollista liittää muitakin lampputyppejä. Järjestelmässä ei tarvita erillistä keskusyksikköä, vaan kaikki tarvittava tieto tallennetaan valaisimissa oleviin liitäntälaitteisiin. Sen sijaan DALI-väylää varten tarvitaan virtalähde. Jokaiseen liitäntälaitteeseen tallennetaan yksilöllinen osoite, ryhmätunnukset, valaistustilanteiden asetusarvot, häivytyssajat, turvavalaisuksen himmennysarvo ja valaistusarvo syttymishetkellä. yhdessä järjestelmässä voi olla enintään 64 osoitetta, 16 ryhmää ja 16 tilannetta. DALI-järjestelmän käyttöönottamiseksi tarvitaan yleensä ohjelmointia, joka voidaan suorittaa yksinkertaisissa tapauksissa ohjauspaneelilla tai kaukosäätimellä tai monimutkaisimmissa tapauksissa tietokoneella erityistä ohjelmistoa apuna käyttäen. [23]

Esimerkkisuunnitelmassa (kuva 19) luokahuoneen 234 ovenpieleen asennetaan valaistuksen päälle/pois ohjauspainike. Luokahuoneen etuosassa opettajalla on käytössään valaistuksenohjaustaulu, jossa on viisi nappia eri valaistustilanteille, sekä yksi liukusäädin, jolla voidaan himmentää luokahuoneen yleisvalaistusta. Painikkeisiin ohjelmoidaan valmiiksi opettajien kanssa yhteistyössä suunnitellut valaistustilanteet.



SELOSTUS





- DALI- VÄYLÄN KAAPELOINTI MMJ 2x1,5N
- VALAISIMEN JOHDOTUS 230V+DALI-VÄYLÄ

VALAISTUSTILANTEET OPETUSTILA:

1. VALOJEN SAMMUTUS
2. TÄYDET VALOT 100% (SIIVOUS)
3. OPETUSTILANNE (LUONNONVALON VAIKUTUS)
4. OPETUSTILANNE (SÄÄDETTY TASAINEN VALAISTUS)
5. ESITYSTILANNE (A:t JA B:t HIMMEÄLLÄ)

1. LIUKUSÄÄDIN KATTOVALAISIMET B ja C

LAITTEET

-  = DALI- VIRTALÄHDE HELVAR 402 KESKUSKOMEROSSA
-  21 = VALAISTUSOHJAUSPAINIKKEET ja LIUKUSÄÄDIN HELVAR 124 110 200
-  = VALAISTUSOHJAUSPAINIKKEET (on-off) HELVAR 121 200
-  = LÄSNÄÖLOILMAISIN, ESYLUX PD-360i/24 DUODIMplus-SM - MASTER

Kuva 19. Opetustilan 234 DALI-ohjattu valaistus ja toimintaselostus.

Suunnitelmassa luokahuoneen valaistusta ohjataan seuraavalla tavalla. Yhdellä tunnistimella ohjataan kolmea valolinjaa. Kaksi valolinjoista on 1-10 V:n vakiovalonsäädöllä, eli seuraavat luonnon- ja keinovalon muutoksia. Tauluvaloja ohjataan päälle/pois periaatteella, mutta valaisimet ovat kuitenkin tunnistimen 3. kanavan perässä. Kaikkia valolinjoja ohjataan myös tavallisella 230 V:n painonapilla haluttaessa erikseen. 1-10 V:n valolinjoja voidaan liukusäätimellä himmentää/päälle/pois. Tauluvaloja ohjataan painonapilla pelkästään päälle/pois-kytkennällä.

9 Luokkahuoneen 234 uudet valaistussuunnitelmavaihtoehdot

Seuraavassa esitellään 8 kpl vaihtoehtoisia suunnitelmia luokkahuoneen yleisvalaistukseksi. Kaikissa vaihtoehdoissa käytetään valonlähteenä lediä. Valaisimet ovat joko täysin uusia LED-valaisimia tai vaihtoehtoisesti suunnitelmia, joissa uusitaan vain nykyiset T8-loisteputket LED-valoputkiksi.

Valaistusvaatimukset oppilaitoksissa tulivat jo aikaisemmin esille luvussa 7, ja ne olivat luokkahuoneen osalta taulukon 9 mukaiset.

Taulukko 9. Suunnitelmassa huomioitavat valaistusvoimakkuustasot [6]

| Oppilaitos | E_m | UGR_L | U_0 | R_a | Huomautukset |
|------------|-------|---------|-------|-------|-------------------------------------|
| Luokat | 300 | 19 | 0,6 | 80 | Valaistuksen tulisi olla säädettävä |
| Iltaopetus | 500 | 19 | 0,6 | 80 | Valaistuksen tulisi olla säädettävä |
| Liitutaulu | 500 | 19 | 0,7 | 80 | Suuntaheijastumisia vältettävä |

Jokaisesta suunnitelmavaihtoehdosta tehtiin DIALux-mallinnus ja -valaistuslaskelma. Kaikissa vaihtoehdoissa ei välttämättä päästy esitettyihin tavoitearvoihin. Tällaisessa tapauksessa kerrotaan syy, mikä oli esteenä tavoitteiden toteutumiselle. Tutkittava luokkahuone on kuitenkin kohtuullisen pieni pinta-alaltaan 59 m², ja nykyisessä tilanteessa on kattovalaisimia 6 kappaletta. Mikäli jossain suunnitelmavaihtoehdossa jouduttiin valaisinmäärää lisäämään kohtuuttomasti saavuttaaksemme edes valaistuksen nykytaso, oli suunnitelma jo siinä vaiheessa kustannuksiltaan toteuttamiskelvoton.

Tavoitteena valaistuslaskelmissa pidetään iltaopetuksen edellyttämää 500 luksia. DIALux-valaistuslaskentaohjelma antaa tulokset kuitenkin todellisuuteen verrattuna hieman alakanttiin ja tämän takia voidaan käyttää pientä korjauskerrointa laskelmissa. Laskelmien antamasta keskimääräisestä valaistusvoimakkuudesta työtasolla voidaan hieman tinkiä ja hyväksyä tulos 450 lx.

Vaihtoehdoissa, joissa vaihdetaan vain valonlähde nykyisten T8 loisteputkien tilalle. Valtavalolla sekä Osramilla ei ole suoraan DIALux-ohjelman käyttöön omia valonjakotietojaan LED-valoputkistaan. Laskelmat on tehty soveltamalla toisesta LED-tuotteesta valonjakotietoja, jotka soveltuvat näihin tuotteisiin. Valovirta ja teho on vaihdettu tuot-

teisiin täsmäämiin arvoihin. LED-putki suuntaa valon 120–150°:n kulmassa käyttösuuntaan, minkä ansiosta LED-putkien pienemmillä valovirroilla saavutetaan haluttu valaistustaso. Toistaiseksi loisteputkien korvaaminen LED-putkilla todennäköisesti alentaa valaistusvoimakkuutta jonkin verran. Mikäli valaistuksessa on ylimitoitusta, riittävä valaistustaso saavutetaan myös LED-putkilla.

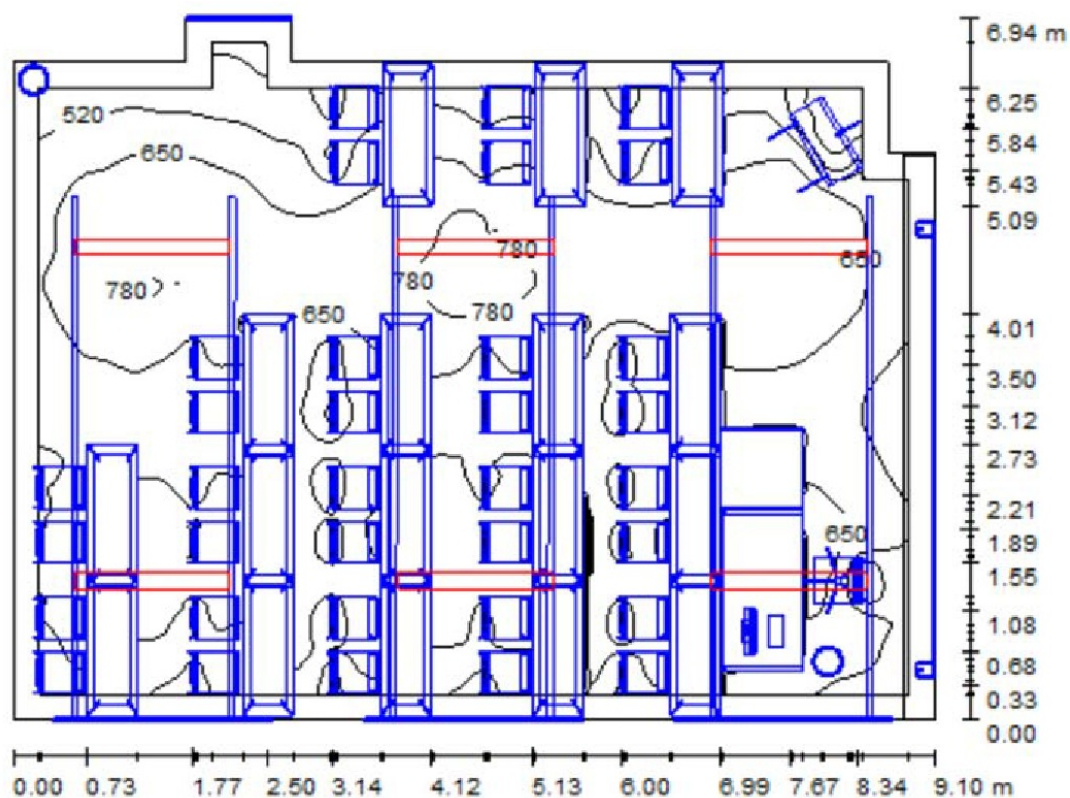
Suunnitelmissa pyritään huomioimaan se, että vaikka nyt tehdäänkin vain yhden luokahuoneen malliasennusta, on oppilaitoksessa lähes samanlaisia luokahuoneita n. 40 kappaletta, joihin mahdollisesti samanlaiset asennukset tehdään jatkossa. Tästä syystä suunnitelmaa tehdessä on mietittävä järkevällä tasolla asennuskuluja koko oppilaitoksen luokahuoneisiin. Ihan kaikkea ei voi siis pistää uusiksi. Suunnitelmissa pyritään mahdollisimman paljon hyödyntämään jo olemassa olevia johtoreittejä.

Jotta saataisiin hieman vertailupintaa uusiin DIALux-laskelmiin, tehdään ensimmäisenä luokahuoneen nykytilanteen teoreettinen laskelma, jossa valaisimena käytetään luokkatilan yleisvalaisimena 2-putkista 58 W:n tehoista T8-loisteputkivalaisinta, joita tilassa on nyt käytössä. Laskelmassa käytetyt valaisimet eivät kuitenkaan ole samoja kuin todellisuudessa, koska vuoden 1995 valaisinten DIALux-valonjakotietoja ei ole saatavissa valaistuslaskentaohjelmaan.

Uusissa suunnitelmavaihtoehdoissa tulisi pysyä luokahuoneen 234 yleisvalaistuksen osalta alle 852 W_n tehon, jotta sähkötehonkulutuksen säästöä saadaan aikaiseksi. Energiakulujen pitää myös jäädä alle 260 € vuodessa.

9.1 Nykytilanteen laskelma

Luokkahuoneen keskimääräiseksi valaistusvoimakkuudeksi työtasolla saadaan 617 lx, joka ei kuitenkaan vastaa nykytilanteen mitattuja lukemia. Tulos on todella hyvä ja täyttää standardin vaatimukset reilusti. Valaistus ei kuitenkaan jakaudu kovin tasaisesti luokkatilaan, kuten kuvasta 20 voidaan todeta.



Kuva 20. Luokkahuoneen nykytilanteen valaistuskalkula 2 x 58 loisteputkivalaisimilla.

Luokkahuoneen sähkönkulutus ja energiakustannukset nykyisten valaisinten osalta ovat taulukon 10 mukaiset.

Taulukko 10. Nykytilanteen valaisimien kokonaistehot ja energiakustannukset

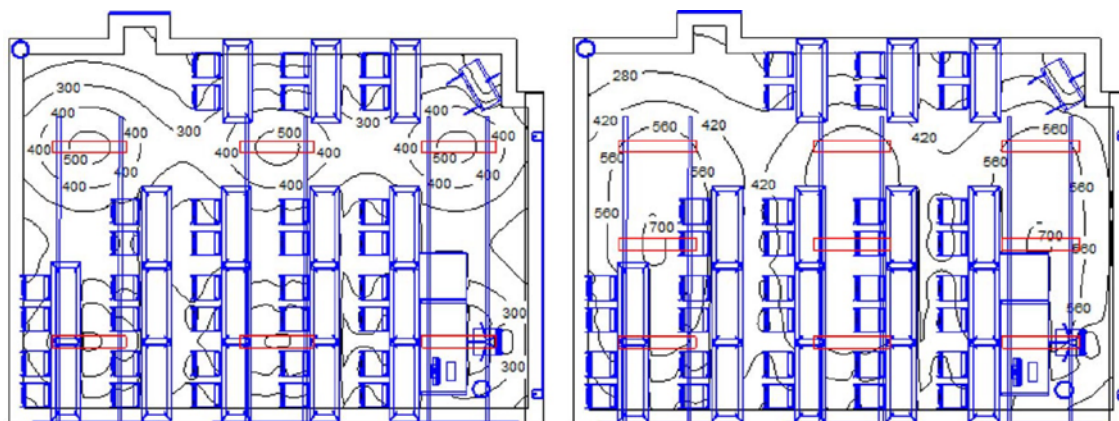
| Valaisin | Lukumäärä kpl | Teho a | Kokonaisteho (kuristintehot) W/kpl | Käyttöaika h/a | En.kulut €/a |
|--------------|------------------|--------|--|-------------------|-----------------|
| Tauluvalot | 2 | 46 | 92 | 2500 | 20,06 |
| Loisteputket | 12 | 71 | 852 | 2500 | 259,86 |

9.2 Vaihtoehto 1 / Philips

Taulukko 11. Vaihtoehto 1 / valaisintiedot

| | | |
|---|---------------------|------------------------|
|  | Valaisinvalmistaja: | |
| | PHILIPS | |
| Malli: | Smartform Led | |
| Valovirta: | 3500 lm | Asennuskorkeus: 2.5m |
| Teho: | 58 W | Hinta (alv 0 %): 829 € |

Ensin vertaillaan valaisinta tilan nykyisellä valaisinmäärällä. Standardin mukaiset vaatimukset eivät täyty keskimääräisen valaistusvoimakkuuden E_m jäädessä 302 luksiin. Vaihtoehto ei ole toteutettavissa.



Kuva 21. Dialux-laskelmat Smartform-valaisimella.

Lisättäessä yksi valaisinrivi (oikean puoleinen tilanne) luokahuoneen keskelle saadaan tilan keskimääräiseksi valaistusvoimakkuudeksi E_m työtasolle 458 lx, jota voidaan pitää riittävän hyvänä tuloksena. Valaistusvoimakkuuden E_{MAX} arvoksi saadaan 722 lx.

Taulukko 12. Vaihtoehto 1 / tulokset

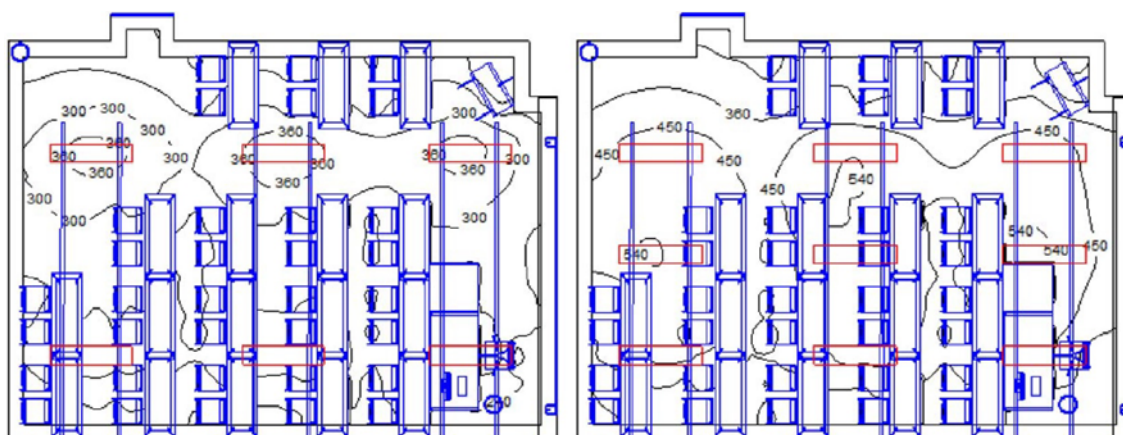
| Lukum. kpl | Kokonaisteho W | En.kulut €a | Säästö W | E_m | Investointi € | Toteutus |
|---------------|-------------------|----------------|-------------|-------|------------------|----------|
| 6 | 348 | 106,14 | 504 | 302 | 4 974 | - |
| 9 | 522 | 159,21 | 330 | 458 | 7 461 | + |

9.3 Vaihtoehto 2 / Glamox

Taulukko 13. Vaihtoehto 2 / valaisintiedot

| | | |
|---|--|------------------------------------|
|  | Valaisinvalmistaja: | |
| |  GLAMOX® | |
| | Malli: | C75-P LED 6200 MC – 1x58W LED C-75 |
| | Valovirta: | 5200 lm Asennuskorkeus: 2.5m |
| | Teho: | 58 W Hinta (alv 0 %): 1800,00 € |

Nykyisellä valaisinmäärällä luokkatilan keskimääräiseksi E_m valaistusvoimakkuudeksi käyttötasolle saatiin laskelmassa 279 lx. Näin ei saavuteta tavoiteltua valaistustasoa.



Kuva 22. Dialux-laskelmat valaisimella C75-P LED

Lisättäessä yksi valaisinrivi (oikean puoleinen tilanne) jäädään vieläkin tavoitearvosta keskimääräisen valaistusvoimakkuuden E_m ollessa 419 lx. Valaistusvoimakkuuden E_{MAX} arvoksi saadaan 569 lx.

Taulukko 14. Vaihtoehto 2 / tulokset

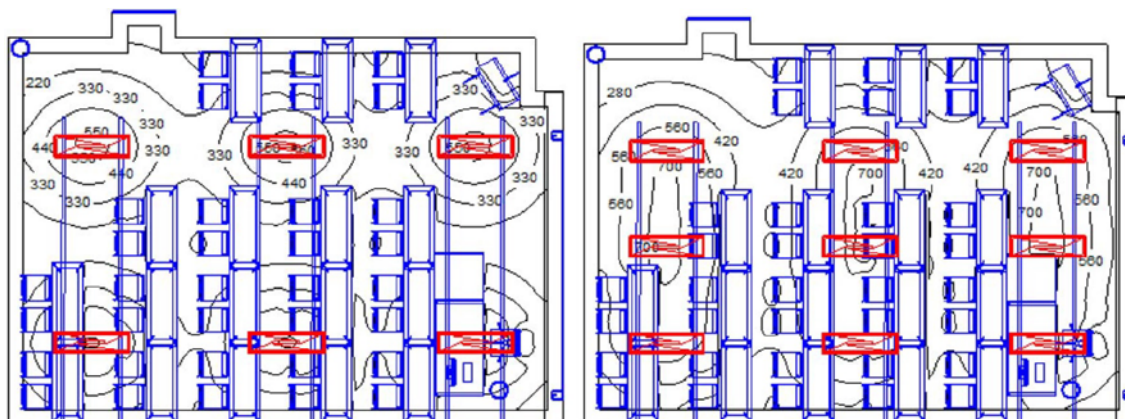
| Lukum. kpl | Kokonaisteho W | En.kulut €/a | Säästö W | E_m | Investointi € | Toteutus |
|---------------|-------------------|-----------------|-------------|-------|------------------|----------|
| 6 | 348 | 106,14 | 504 | 279 | 10 800 | - |
| 9 | 522 | 159,21 | 330 | 419 | 16 200 | - |

9.4 Vaihtoehto 3 / Siteco Quadrature

Taulukko 15. Vaihtoehto 3 / valaisintiedot

| | | | | |
|---|--|-------------------|------------------|-----------|
|  | Valaisinvalmistaja: | | | |
| |  | | | |
| | Malli: | Quadrature® 2 LED | | |
| | Valovirta: | 3350 lm | Asennuskorkeus: | 2.5m |
| | Teho: | 47 W | Hinta (alv 0 %): | 1200.00 € |

Nykyisellä valaisinmäärällä luokkatilan keskimääräiseksi valaistusvoimakkuudeksi E_m saatiin laskelmassa 276 lx. Standardin mukaiset valaistusvoimakkuudet eivät täyty tässä vaihtoehdossa.



Kuva 23. Dialux-laskelmat Quadrature-valaisimella.

Lisättäessä yksi valaisinrivi (oikean puoleinen tilanne) saadaan keskimääräiseksi valaistusvoimakkuustasoksi E_m käyttötasolle 447 lx. Valaistusvoimakkuuden E_{MAX} arvoksi saadaan 735 lx.

Taulukko 16. Vaihtoehto 3 / tulokset

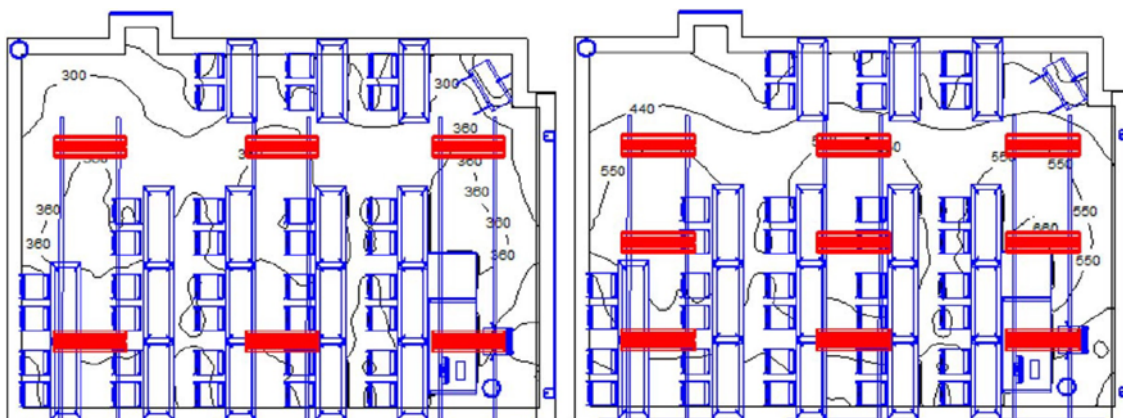
| Lukum. kpl | Kokonaisteho W | En.kulut €a | Säästö W | E_m | Investointi € | Toteutus |
|---------------|-------------------|----------------|-------------|-------|------------------|----------|
| 6 | 282 | 86,01 | 570 | 296 | 7 200 | - |
| 9 | 423 | 129,02 | 429 | 447 | 10 800 | - |

9.5 Vaihtoehto 4 / Siteco Novaluna

Taulukko 17. Vaihtoehto 4 / valaisintiedot

| | | |
|---|---------------------|----------------------------|
|  | Valaisinvalmistaja: | |
| | siteco | |
| Malli: | | 5MC254DL4HS1 Novaluna® P |
| Valovirta: | 5890 lm | Asennuskorkeus: 2.5m |
| Teho: | 70 W | Hinta (alv 0 %): 1100,00 € |

Valaistusvoimakkuustasot nykyisellä valaisinmäärällä jäävät alle vaaditun. Keskimääräisen valaistusvoimakkuuden E_m ollessa työtasolla 310 lx.



Kuva 24. Dialux-laskelmat Novaluna-valaisimella

Lisättäessä yksi valaisinrivi (oikean puoleinen tilanne) laskentatulokset ovat todella hyviä. Valaistus on todella tasainen ja keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_m työtasolla on 475 lx. Valaistusvoimakkuuden E_{MAX} arvoksi saadaan 687 lx.

Taulukko 18. Vaihtoehto 4 / tulokset

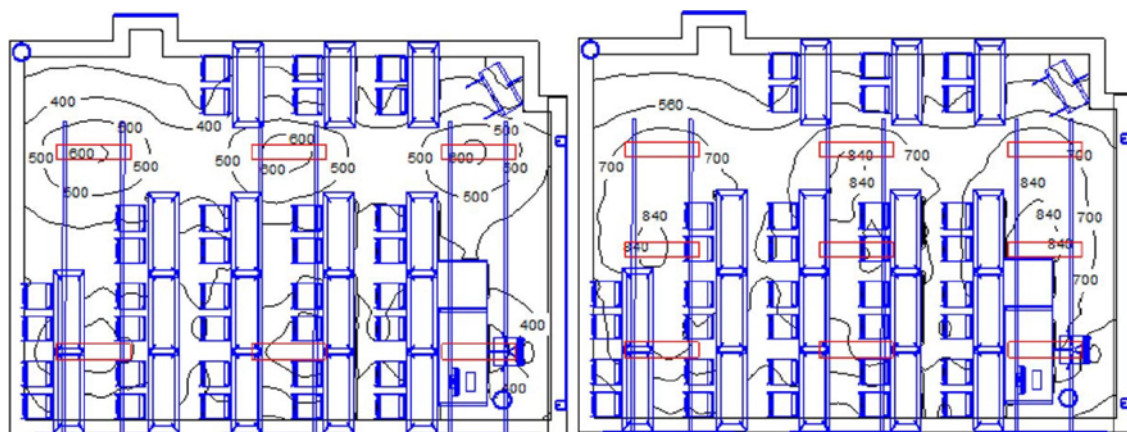
| Lukum. kpl | Kokonaisteho W | En.kulut €a | Säästö W | E_m | Investointi € | Toteutus |
|---------------|-------------------|----------------|-------------|-------|------------------|----------|
| 6 | 420 | 128,1 | 432 | 310 | 6 600 | - |
| 9 | 630 | 192,15 | 222 | 475 | 9 900 | + |

9.6 Vaihtoehto 5 / Spittler 97 W

Taulukko 19. Vaihtoehto 5 / valaisintiedot

| | | | |
|---|--|-----------|---------------------------|
|  | Valaisinvalmistaja: | | |
| |  | | |
| | Malli: | SL740 LED | |
| | Valovirta: | 8920 lm | Asennuskorkeus: 2.5m |
| | Teho: | 97 W | Hinta (alv 0 %): 750.00 € |

Valonjako tässä valaisimessa on epäsuora. Nykyisellä valaisinmäärällä valaistusvoimakkuustasot jäävät alle vaaditun. Keskimääräisen valaistusvoimakkuuden E_m ollessa työtasolla 409 lx.



Kuva 25. Dialux-laskelmat 97 W:n SL740 LED-valaisimella

Lisättäessä yksi valaisinrivi (oikean puoleinen tilanne) laskentatulokset ovat vaihtoehtoista parhaat. Valaistus on todella tasainen ja keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_m työtasolla on 623 lx. Valaistusvoimakkuuden E_{MAX} arvoksi saadaan 910 lx.

Taulukko 20. Vaihtoehto 5 / tulokset

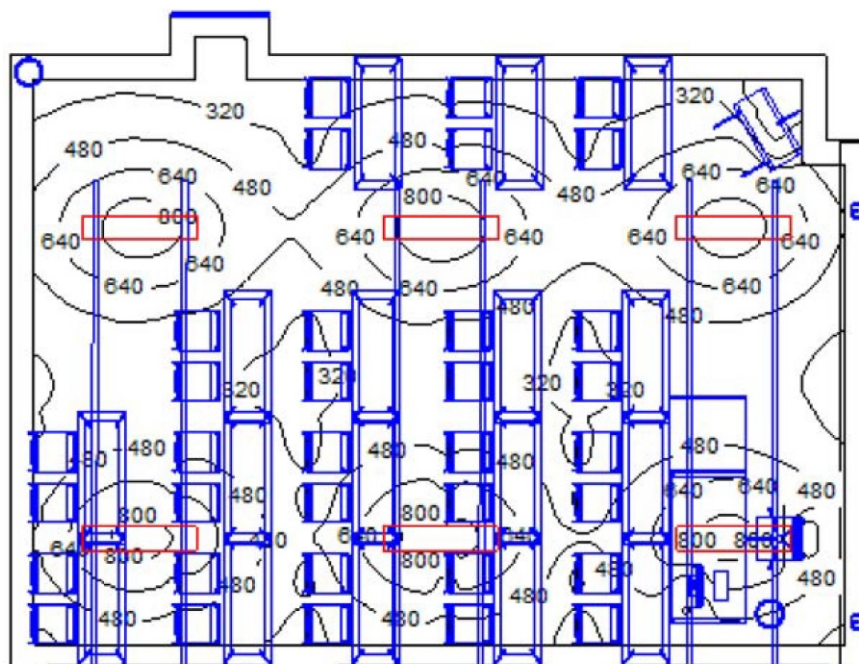
| Lukum. kpl | Kokonaisteho W | En.kulut €a | Säästö W | E_m | Investointi € | Toteutus |
|---------------|-------------------|----------------|-------------|-------|------------------|----------|
| 6 | 582 | 177,51 | 270 | 409 | 4 500 | - |
| 9 | 873 | 266,27 | +21 | 623 | 6 750 | + |

9.7 Vaihtoehto 6 / Spittler 81 W

Taulukko 21. Vaihtoehto 6 / valaisintiedot

| | | | |
|---|--|-----------------|---------------------------|
|  | Valaisinvalmistaja: | | |
| |  | | |
| | Malli: | SL740 LED 1x72W | |
| | Valovirta: | 6270 lm | Asennuskorkeus: 2.5m |
| | Teho: | 81 W | Hinta (alv 0 %): 738,00 € |

Tässä vaihtoehdossa päästään nykyisellä valaisinmäärällä standardin asettamiin valaistustasoihin. Keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_m työtasolla on 485 lx. Valaistusvoimakkuuden E_{MAX} arvoksi saadaan 889 lx.



Kuva 26. Dialux-laskelma 81 W:n SL740 LED-valaisimella.

Taulukko 22. Vaihtoehto 6 / tulokset

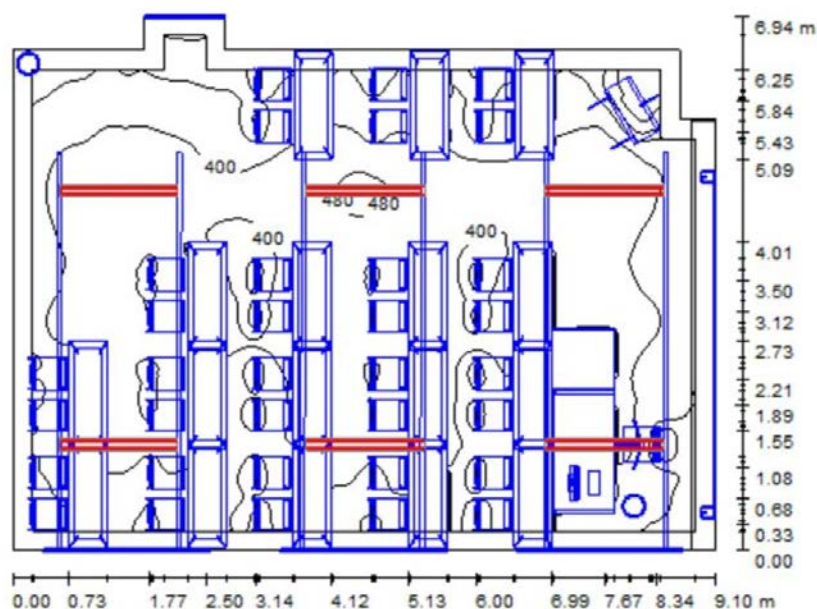
| Lukum. kpl | Kokonaisteho W | En.kulut €a | Säästö W | E_m | Investointi € | Toteutus |
|---------------|-------------------|----------------|-------------|-------|------------------|----------|
| 6 | 486 | 148,23 | 366 | 485 | 4 428 | + |

9.8 Vaihtoehto 7 / Valtavalo LED-putki

Taulukko 23. Vaihtoehto 7 / Valonlähdetiedot

| | | | | |
|---|-----------------------|------------|------------------|---|
|  | Valonlähdevalmistaja: | | |  |
| | Tyyppi | VV24EI50G3 | | |
| | Valovirta: | 2600 lm | Asennuskorkeus: | 2.9m |
| | Teho: | 24 W | Hinta (alv 0 %): | 55.00 € |

Keskimääräiseksi valaistusvoimakkuudeksi E_m työtasolle saadaan 389 lx. Valaistusvoimakkuuden E_{MAX} arvoksi saadaan 489 lx.



Kuva 27. Dialux-laskelma nykyisiin valaisimiin asennettavilla 24 W:n LED-putkilla

Saatavaa tulosta ei voida pitää riittävänä muuhun kuin päiväopetukseen, johon se kelpaa standardien suositusten mukaisesti.

Taulukko 24. Vaihtoehto 7 / tulokset

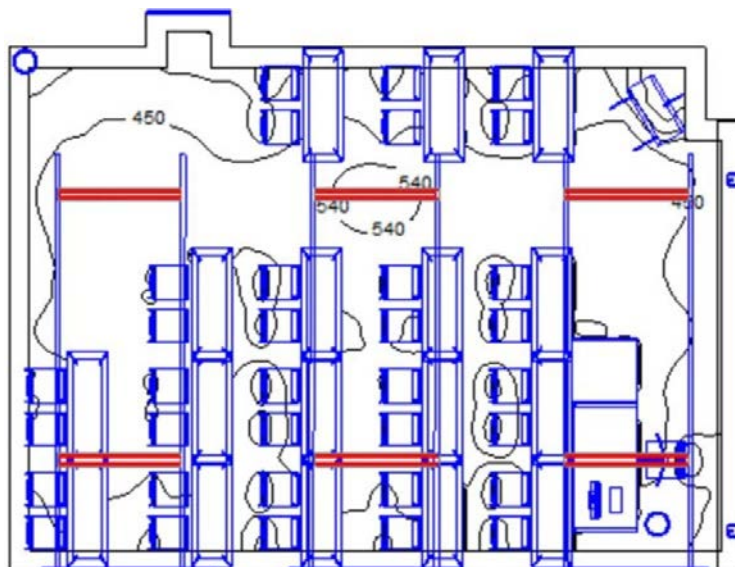
| Lukum. kpl | Kokonaisteho W | En.kulut €/a | Säästö W | E_m | Investointi € | Toteutus |
|---------------|-------------------|-----------------|-------------|-------|------------------|----------|
| 12 | 300 | 91,52 | 552 | 389 | 660 | - |

9.9 Vaihtoehto 8 / Osram LED-putki

Taulukko 25. Vaihtoehto 8 / valonlähdetiedot

| | | |
|---|--|-------------------------------|
|  | Valonlähdevalmistaja: | |
| |  | |
| | Tyyppi | ST8-HA5-300-840 |
| | Valovirta: | 3000 lm Asennuskorkeus: 2.9m |
| | Teho: | 30 W Hinta (alv 0 %): 55,00 € |

Vaihtoehdossa kuusi kokeillaan Osramin valovirraltaan 3000 luumenin LED-valoputkea nykyisien loisteputkien tilalle. Keskimääräiseksi valaistusvoimakkuudeksi E_m työtasolle saadaan 460 lx. Valaistusvoimakkuuden E_{MAX} arvoksi saadaan 571 lx.



Kuva 28. Dialux-laskelma nykyisiin valaisimiin asennettavilla Osram LED-putkillä.

Tulosta voidaan pitää toteutuskelpoisena, sekä standardin mukaisen vaatimuksen osalta, että merkittävän energiansäästön kannalta.

Taulukko 26. Vaihtoehto 8 / tulokset

| Lukum. kpl | Kokonaisteho W | En.kulut €/a | Säästö W | E_m | Investointi € | Toteutus |
|---------------|-------------------|-----------------|-------------|-------|------------------|----------|
| 12 | 372 | 113,46 | 480 | 460 | 660 | + |

9.10 Tauluvalaistus

Taulukko 27. Tauluvalaistus / valaisintiedot

| | |
|---|--|
|  | Valaisinvalmistaja: |
| |  Malli: 5DS32B77L2R9K Lunis® SL-T Valovirta: 4510 lm Teho: 73 W |

Tauluvalaistukselle standardi EN 12464-1 määrittää valaistusvoimakkuudeksi 500 luk-sia.

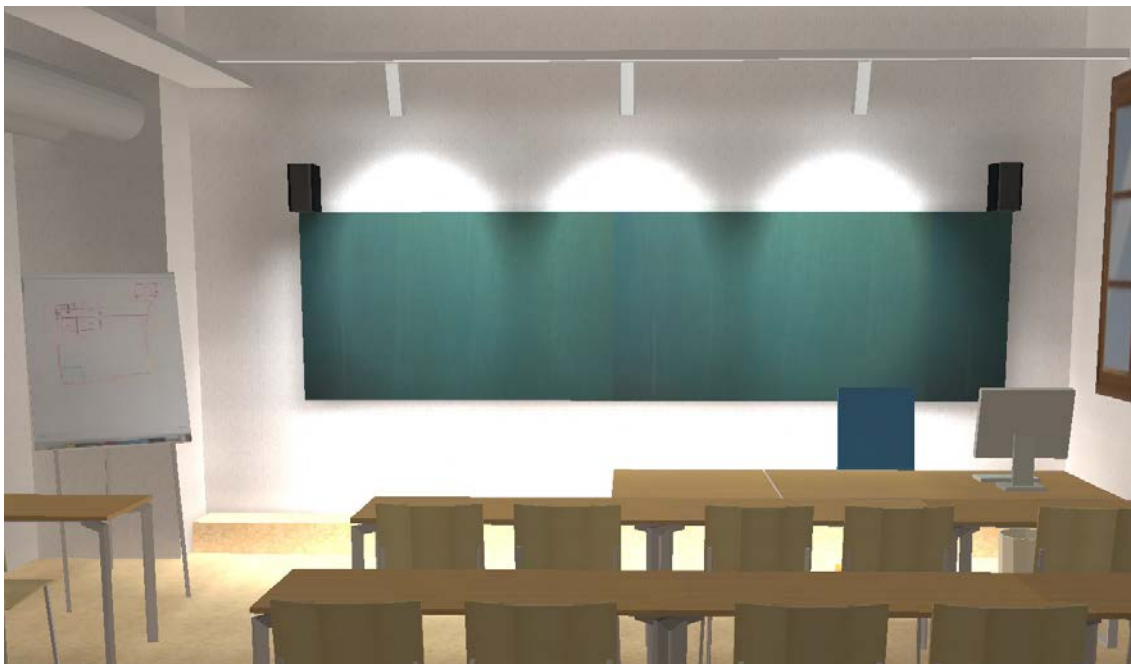
Taulukko 28. Ote standardista EN 12464-1 tauluvalaistuksen osalta.

| Oppilaitos | E_m | UGR_L | U_0 | R_a | Huomautukset |
|------------|-------|---------|-------|-------|--------------------------------|
| Liitutaulu | 500 | 19 | 0,7 | 80 | Suuntaheijastumisia vältettävä |

Tauluvalaistuksen toteutustapoja on monia. Monessa tapauksessa taulun eteen asen-netaan taulun suuntaisesti samoja valaisimia kuin tilan yleisvalaistuksena on käytetty tai epäsymmetristä valaisinta. Luokkahuoneen 234 nykytilanteessa taululle on kaksi omaa valonheitin tyypistä valaisinta. Käytettäessä LED-valaisinta näin törmätään LED-valaisimen kapeaan valonsuuntaukseen. Kuvasta 29 pystyy hyvin huomaamaan kuinka pistemäiseksi valonjako taululle asettuu. Tauluvalaistuksen toteuttaminen LED-valaisimilla ei välttämättä ole paras mahdollinen ratkaisu. Tähän tutkielmaan en löytä-nyt valaisinta, jonka tuloksiin tällaisessa käytössä olisin täysin tyytyväinen.

Taulukko 29. Tauluvalaistus / tulokset

| Lukum. kpl | Kokonaisteho W | En.kulut €/ a | Säästö W | E_m | Investointi € | Toteutus |
|---------------|-------------------|------------------|-------------|-------|------------------|----------|
| 3 | 219 | 66,80 | +127 | 520 | xx xx | + - |



Kuva 29. DIALux- mallinnus tauluvalaistuksesta kolmella LED-valaisimella

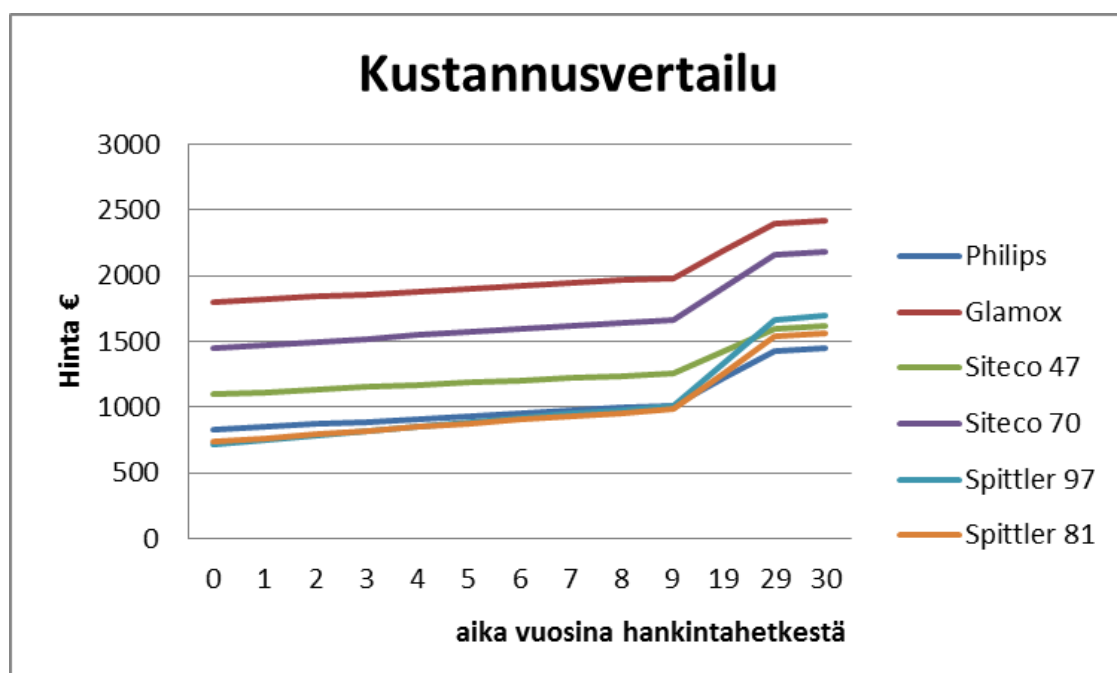
9.11 Yhteenveto tuloksista

Tutkittavista kuudesta LED-valaisimesta kolmella päästiin standardin EN 12464-1 asettamiin tavoitearvoihin. Vaihtoehdoilla 1 ja 4 saavutettiin tavoitearvot lisättäessä kolme valaisinta nykyisestä valaisinmäärästä. Vaihtoehdolla 2 ja 3 ei päästy tavoitearvoihin edes lisäämällä valaisinmäärää nykyisestä. Vaihtoehdolla 5 tavoitettiin myös tavoitearvot lisättäessä kolme valaisinta, mutta energiansäästöä ei saatu aikaan, sähkötehojen kasvaessa 21 W nykyisestä. Vaihtoehto 6 oli ainoa, jolla saavutettiin haluttu valaistustaso luokkahuoneen nykyisellä valaisinmäärällä. Se oli työssä tutkittavista valaisimista paras vaihtoehto korvaamaan nykyiset valaisimet sekä valaistusteknisesti että kustannuksiltaan, kuten luvun 10 elinkaarikustannuslaskenta kappaleen taulukosta 30 voimme todeta.

Tutkittavana olleista LED-valoputkista Osramin valmistama 30 W:n valoputki osoittautui paremmaksi vaihtoehdoksi kuin Valtavalo Oy:n 24 W:n valoputki täyttäen standardin vaatimukset, toisin kuin Valtavalon malli.

10 Elinkaarikustannuslaskenta

Valaistusjärjestelmän elinkaarikustannukset (kuva 30) muodostuvat hankintahinnasta, elinkaaren energiakustannuksista sekä lamppujen vara-osien ja huoltotyön kustannuksista. Valaistuksen käyttöikä vaikuttaa merkittävästi toimenpiteiden takaisinmaksu-aikaan. Oppilaitoskiinteistön luokkahuoneiden valaistuksen vuotuinen käyttöaika on 2500 tuntia. Liitteestä 2 voidaan tarkastella tutkittavina olleiden valaisinten ja valonlähteiden tarkempia numeroita.



Kuva 30. Kustannusvertailu tutkittavana olevien valaisinten ja valonlähteiden kesken

11 Pohdinta ja johtopäätökset

11.1 LED-valaistus luokkahuoneissa

LED-valaistus/valaisimet elävät vielä tämänlaisiin tutkittavana olleena kohteisiin pienosta murrosvaihetta. LED-valaisimia loisteputkivalaisimien tilalle löytyy jo usealta valaisinvalmistajalta, mutta voisi sanoa, että suurin osa näiden käyttötarkoituksista löytyy neuvotteluhuoneiden tai modernien toimistohuoneiden valaistukseen. Neuvotteluhuoneen valaistussuunnittelussa on totuttu käyttämään hieman arvokkaampia ja näyttä-

vämpiä valaisimia kuin tavallisessa toimistohuoneessa tai tässä tapauksessa luokkahuoneessa. Kustannussyistä luokkahuoneeseen ei ole järkevää hankkia hintavia neuvotteluhuonevalaisimia. Loisteputkivalaisimia korvaamaan tarkoitettuja LED-valaisimia on myös autohalli/pysäköintihallikäyttöön. Nämä valaisimet ovat suojausluokaltaan korkeampia kuin toimisto/luokkahuoneen valaisimet ja ovat tämän vuoksi ulkonäöltään hieman rujan näköisiä ja eivät näin ole järkevä vaihtoehto luokkahuonekäytössä..

Tämän työn suunnitelmavaihtoehtoissa tutkittiin kuutta eri LED-valaisinta korvaamaan nykyiset loistevalaisimet. Ainoastaan yhdellä tutkittavista olleista valaisimista laskelma antoi standardin vaatiman tuloksen nykyisellä valaisinmäärällä. Lopuissa viidessä suunnitelmavaihtoehdossa törmättiin samaan ongelmaan. Nykyisellä kuuden (6) valaisimen ei päästä standardin EN 12464-1 asettamaan keskimääräiseen valaistusvoimakkuuteen. Näissä tapauksessa olisi pitänyt lisätä yksi kolmen valaisimen valaisinrivi lisää. Tällöin tulokset olivat jo standardin mukaisia. Joissain tapauksissa valaistustulokset olivat aivan huippuluokkaa. Laskelmista ja valaistuksen merkittävästä tasaisuudesta pystyttiin toteamaan, että tarjolla olleet valaisimet ovat todella laadukkaita tuotteita.

Tutkielmassa huomioitiin kahdessa tapauksessa nykyisiin valaisinrunkoihin vaihdettavat LED-valoputket vaihtoehdoksi nykyisille T8-loisteputkille. Laskelmien kautta pystyttiin toteamaan, että Osramin valmistamilla 30 W:n lediputkilla päästään standardin EN 12464-1 asettamiin tavoitearvoihin. Tällä vaihtoehdolla saavutetaan myös merkittävää energiansäästöä. Yhden luokkahuoneen osalta yleisvalaistuksesta saatiin laskelmissa sähkönkulutusta 480 W pienemmäksi nykyisestä 852 W:sta 372 W:iin.

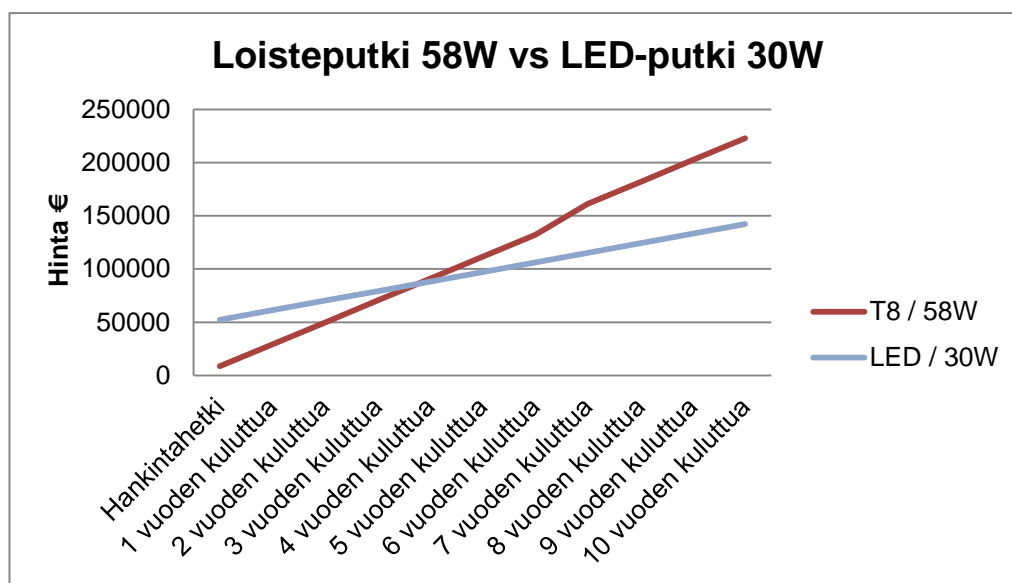
Insinööriyöni tavoitteena oli löytää Mäkelän kouluun LED-tekniikalla toimiva valaistusratkaisu luokkahuoneisiin, jolla saavutetaan energiansäästöä merkittävästi. Valaisinvalmistajien tarjolla olleet LED-valaisimet eivät vielä olleet hinnaltaan järkevä investointi tämänlaiseen kohteeseen. Tässä vaiheessa paremmaksi vaihtoehdoksi Mäkelän koululle osoittautui investoida luokkahuoneen nykyisiin valaisimiin LED-valoputket.

Kohteen vanhoista suunnitelmista vuodelta 1995 valaisinluetteloita tarkastellessa saatiin selville nykyisten T8 58 W loisteputkien lukumäärä koko oppilaitoksessa, ja se on n. 950 kappaletta. Mikäli kesän aikana investoidaan näiden tilalle LED-valoputket, tulee hankintakustannukseksi hieman yli 50 000 €, joka maksaa itsensä takaisin noin neljässä vuodessa säästyneillä energiakustannuksilla, kuten kuvasta 31 voidaan todeta. Tämän jälkeen investointi alkaa tuottaa oppilaitokselle selvää säästöä. Neljän vuoden

päästä ollaan tästä hetkestä vuodessa 2017, jolloin tulee tämän työn johdannossa esitetty tilanne vastaan ja tämänlaisten nyt käytössä olevien valonlähteiden myynti lopetetaan. Jää oppilaitoksen päätettäväksi, siirrytäänkö nyt käyttämään LED-valoputkia vai odotetaanko vuoteen 2017 ilman minkäänlaisia toimenpiteitä ja katsotaan, mikä on silloin paras ratkaisumalli luokkahuoneiden valaistukselle. Tilanne on hankala, mikäli vuonna 2017 on jo markkinoilla hankintakustannuksiltaan järkeviä LED-valaisinvaihtoehtoja luokkahuoneisiin ja silloin päätetään siirtyä niiden käyttöön. Silloin ei nykyisellä LED-putkien investoinnilla saavuteta mitään. Toisaalta, jos silloin tehdäänkin päätös siirtyä vain LED-putkien käyttöön, on tämä jo kertaalleen tutkittu merkittävä säästö menetetty. Vuonna 2017 on kuitenkin tilanteelle joka tapauksessa jotain tehtävä ja siihen on alettava varautumaan selkeän suunnitelman osalta jo vuoden 2016 aikana.

Taulukko 30. Kuvaan 31 perustuvat laskentatiedot huomioituna kuristinhäviöillä.

| Valonlähde | Teho W | Polttoaika h / a | Lukumäärä kpl | Hinta €/kpl | Sähkö €/ kWh | Energiakustannus. €/ a |
|-------------|-----------|---------------------|------------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| Loisteputki | 58 | 2500 | 950 | 9,00 | 0,122 | 20 572,25 |
| LED-putki | 30 | 2500 | 950 | 55,00 | 0,122 | 8 982,25 |



Kuva 31. Koko oppilaitoksen T8 58W:n loisteputkien kustannusvertailu 30 W:n LED putkeen.

Luokkahuoneen tauluvalaistuksen toteuttaminen LED-valaisimilla osoittautui todella haasteelliseksi toteutettuna samaan tapaan kuin luokkahuoneessa nyt on. Tutkielmassa oli tarkoitus tutkia valaistusta pelkästään LED-valaisimilla. Tutkielmassa ei kuitenkaan löydetty toteuttamiskelpoista vaihtoehtoa tauluvalaistukselle LED-valaisimilla.

11.2 Toimenpide-ehdotus

Tutkimukseni pohjalta ehdotan, että Osram 30 W:n LED-valoputket vaihdetaan tässä vaiheessa luokkahuoneeseen 234 nykyisiin valaisinrunkoihin. Asennustöiden jälkeen mitataan luokkahuoneesta lux-mittarilla todelliset valaistustasot LED-valoputkilla ja verrataan niitä tämän työn nykytilanteen kartoitus kappaleessa mitattuihin alkuperäisiin lux-arvoihin. Tämän jälkeen esitellään tila tämän insinööritoimiston haastatteluun osallistuneille käyttäjille. Vertailemalla tuloksia saadaan todellista tietoa päätösten tekemiseen oppilaitoksen muiden luokkahuoneiden vastaavan tilanteen muuttamiseksi. Mikäli tulokset täyttävät reilusti standardin vaatimukset sekä saavat käyttäjien hyväksyvät mielipiteet valaistuksen laadusta, olisi tämän jälkeen järkevää muihinkin luokkahuoneisiin tulevan kesän aikana vaihtaa valonlähteet LED-valoputkiksi. Syyslukukauden alkaessa oppilaat olisivat heti kaikissa luokissa LED-valoputkilla varustetuissa luokkahuoneissa ja välttyttäisiin mahdollisilta tottumisongelmilta.

Luokkahuoneen tauluvalaistuksen toteutus LED-valaisimilla vaatii vielä lisäselvitystä. Ehdotan, että luokkahuoneiden tauluvalaistus jätetään tässä vaiheessa ennalleen. Valaistuksen ohjaukseen ei myöskään tässä vaiheessa ole järkevää tehdä muutoksia. Luvussa 8.1.3 esitettyä DALI-valaistusohjausjärjestelmää ei ole mahdollista rakentaa nykyisiin käytössä oleviin valaisimiin.

Lähteet

- 1 Kiinteistö. Mäkelän Koulu <http://www.makelankoulu.fi/>. Luettu 28.01.2013
- 2 Yritys. Verkkodokumentti. Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy.
[<http://www.maaskola.fi/index.php?id=2>] Luettu 15.10.2012
- 3 ST 58.04. Valaistus yleisohjeet. ST-kortisto 2003. Sähkötieto ry.
- 4 Harsia Pirkko. 2010. Dialux koulutus 01.02.2010.
Tampereen Ammattikorkeakoulu.
http://www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/etuotanto/0505015/5nDLX7KfB/Dialux470_2010.pdf Luettu 5.2.2013
- 5 ST 58.07. Valaistuksen laatu, arviointi ja mittaus. ST-kortisto 2005.
Sähkötieto ry
- 6 Standardi. SFS- EN 12464-1. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1:
Sisätilojen työkohteiden valaistus. Suomen standardoimisliitto.
- 7 Valaistushankintojen energiatehokkuus. 2008. Verkkodokumentti. Suomen Valoteknillinen Seura ry. 2008.
http://www.valosto.com/tiedostot/SVS_Valaistushankintojen_energiatehokkuus_V4.pdf Päivitetty Toukokuu 2008. Luettu 14.2.2013
- 8 LED-valaistuskurssi 2013. Luennot- ja opintomateriaali. Suomen valoteknillinen seura ry / TAMK 2013. Tampere 22.3.2013
- 9 Valonlähteiden vertailua. 2009. Verkkodokumentti. Sähköturvallisuuden edistämiskeskus STEK.
http://www.stek.fi/sahkon_kaytto_kotona/valonlahteet_lamput/fi_FI/valonlahteiden_vertailua/ Luettu 3.4.2013
- 10 Kouluvalaistus. 2013. Verkkodokumentti. Fagerhult.
<http://fagerhult.fi/indoor/skola/standard.asp>
Päivitetty 12.02.2003. Luettu 12.02.2013
- 11 Tiesitkö tämän valaistuksesta? 2005. Verkkodokumentti. Staples Finland Oy.
<http://www.staples.fi/?id=99> Luettu 28.3.2013
- 12 ST 58.08. Valonlähteiden ominaisuudet. ST-kortisto 2009. Sähkötieto ry.

- 13 Lampputyypit 2013. Verkkodokumentti. Taloon.com.
http://www.taloon.com/info/tietoa_rakentajalle/valaisininfo
Luettu 07.02.2013
- 14 ST 57.52. LED-valaistusjärjestelmät. ST-kortisto 2008. Sähkötieto ry.
- 15 Kohti LED- aikaa, ehkä Vantaallakin. 2012. Verkkodokumentti. HS Pääkirjoitus.
<http://www.hs.fi/paakirjoitukset/Kohti+led-aikaa+ehk%C3%A4+Vantaallakin/a1349234132696> Luettu 19.10.2012
- 16 Niiranen Jouko. 2007. Tehoelektroniikan komponentit. Otatieto
- 17 Loisteputkia korvaavat LED-valoputket todettu vaarallisiksi. 2010. Verkkodokumentti. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes..
<http://www.tukes.fi/fi/Ajankohtaista/Tiedotteet/Sahko-ja-hissit/Loisteputkia-korvaavat-LED-valoputket-todettu-vaarallisiksi/>
Päivitetty 20.04.2010. Luettu 17.01.2013
- 18 LED- valaisimia vedetty pois markkinoilta. 2012. Verkkodokumentti. HS Uutinen.
<http://www.hs.fi/kotimaa/Jopa+20+led-valaisinmallia+pois+markkinoilta+viime+vuonna/a1305555329243>
Luettu 08.11.2012
- 19 Sytytin LED-putkille. 2012. Verkkodokumentti. Leditalo Oy
<http://www.leditalo.com/naytatuote.php?tuoteid=166> Luettu 26.3.2013
- 20 LED-lamput, "retrofit". 2012. Verkkodokumentti. Lampputieto.fi
<http://www.lampputieto.fi/lamput/lampputyypit/led-lamput/>
Päivitetty 4.11..2012 Luettu 12.3.2013
- 21 Kallasjoki Tapio. 2012. Verkkodokumentti. Suomen valoteknillisen seuran puheenjohtajan puheenvuoro vantaan kaupunginvaltuuston kokouksessa.
http://www.valosto.com/tiedostot/121015Kuvaus_Vantaa_led.pdf Luettu 19.10.2012
- 22 LED-putkien turvallinen asentaminen. 2010. Verkkodokumentti. Valtavalo Oy.
<http://www.valtavalo.com/tuki> Luettu 19.4.2013
- 23 ST 58.32. Valaistuksen ohjaus. ST-kortisto 2004. Sähkötieto ry.
- 24 Napola Heikki/ Helvar Oy 2013. DALI-koulutus insinööritoimisto Leo Maaskola Oy Huhtikuu 2013. 8.4.2013.
- 25 Mäki Riku / Myynti. Esylux Oy. Sähköpostikeskustelut Tammikuu 2013..

Kysely henkilökunnalle osa 1/2

Nykytilanne

1. Mitä toimintoja tai erilaisia opetustapahtumia luokassa on, mihin käytät valaistusta?

Nykytilanne

Kuinka hyvin nykyinen järjestelmä palvelee näitä toimintoja?

- ☐ Erittäin hyvin
- ☐ Melko hyvin
- ☐ Ei hyvin eikä huonosti
- ☐ Melko huonosti
- ☐ Erittäin huonosti

Valaistustaso

Luokahuoneessa on riittävästi valoa?

- ☐ Täysin samaa mieltä
- ☐ Osittain samaa mieltä
- ☐ En osaa sanoa
- ☐ Osittain eri mieltä
- ☐ Täysin eri mieltä

Energiankulutus

Olen kiinnostunut luokahuoneen energiankulutuksesta?

- ☐ Täysin samaa mieltä
- ☐ Osittain samaa mieltä
- ☐ En osaa sanoa
- ☐ Osittain eri mieltä
- ☐ Täysin eri mieltä

Luokahuoneesta poistuessani...

- ☐ Sammutan valot itse
- ☐ Katson, että joku muu sammuttaa valot
- ☐ En osaa sanoa
- ☐ En kiinnitä asiaan huomiota

Paras vaihtoehto valojen sammuttamiseen?

- ☐ Luokahuoneissa läsnäolotunnistin ja valot sammuvat itsestään, kun sieltä poistutaan
- ☐ Perinteinen systeemi riittää aivan hyvin

Kysely henkilökunnalle osa 2/2

Tulevaisuus

Seuraavat kysymykset käsittelevät kuinka luokkahuonetta jatkossa haluttaisiin parantaa/kehittää valaistuksen ja sen ohjauksen osalta.

Kuinka hyödylliseksi näkisit päivänvalon huomioinnin luokkahuoneen valaistuksessa?

- ☐ Päivänvalon saanti huoneeseen on minulle todella tärkeää
- ☐ Toivoisin päivänvaloa enemmän luokkahuoneeseen
- ☐ Kauniina päivänä olisi mukava saada päivänvaloa luokkaan
- ☐ Riittää kun joku joskus avaa verhot
- ☐ En kiinnitä huomiota moiseen asiaan.

Minulle on tärkeää, että luokkahuoneen valaistuksessa on monia eri valaistustilanteita käytettävissäni?

- ☐ Erittäin tärkeää
- ☐ Tärkeää, kunhan ovat helppokäyttöisiä
- ☐ Ei merkitystä minulle
- ☐ Ei kovin tärkeää
- ☐ Ei mitään merkitystä

OHJAUSJÄRJESTELMÄ:

Ohjelmoitavan järjestelmän ansiosta luokkahuoneessa voidaan käyttää tarkkoja, käyttäjän toiveiden mukaisia ohjaustoimintoja.

Enimmäis- ja vähimmäistasoja voidaan säätää, ja valaisimet voidaan ohjelmoida yksilöllisesti.

Sytytys- ja sammutustoimintoja voidaan muuttaa ja mukauttaa tilan käyttötarkoituksen mukaan.

Ohjelmoituvat toiminnot voidaan kopioida luokkahuoneesta toiseen, jolloin ohjaus toimii samalla tavalla kaikkialla ja ohjelmointi tapahtuu huomattavasti nopeammin.

Lisähyötyä voidaan saavuttaa liittämällä myös lämmön ja ilmastoinnin säätely läsnäoloon perustuvaksi.

Valonohjauksen edut:

- Automaattinen sytytys/sammutus tai pelkkä sammutus.
- Katto- ja tauluvalaisimien yksittäinen ohjaus ja säätö.
- Päivänvalo-ohjaus.
- Ohjaus ovi- ja AV-paneelist.
- Valonsäädön ohjaus vakiopainonapeilla.
- Valaistustilanteet

Toivoisin, että luokkahuoneen valaistus olisi jatkossa energiatehokkaampaa.

- ☐ Täysin samaa mieltä
- ☐ Osittain samaa mieltä
- ☐ En osaa sanoa
- ☐ Osittain eri mieltä
- ☐ Täysin eri mieltä

Toivoisin, että luokkahuoneessa hyödynnettäisiin tämän päivän ohjausjärjestelmiä.

- ☐ Täysin samaa mieltä
- ☐ Osittain samaa mieltä
- ☐ En osaa sanoa
- ☐ Osittain eri mieltä
- ☐ Täysin eri mieltä

Mielestäni valaistuksella on suuri merkitys oppilaiden vireystasoon ja jaksamiseen luokkahuoneessa.

- ☐ Täysin samaa mieltä
- ☐ Osittain samaa mieltä
- ☐ En osaa sanoa
- ☐ Osittain eri mieltä
- ☐ Täysin eri mieltä

Investointikustannukset

Koy Mäkelän koulu

Investointikustannukset luokahuone 234

| Valaisin | Nykyinen | Led-putki | Led-putki | Smartform | Philips | Glamox | Siteco 47 | Siteco 70 | Spittler 81 | Spittler 97 |
|-----------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Valmistaja | Thorn | Valtavalo | Osram | Philips | Philips | Glamox | Siteco 47 | Siteco 70 | Spittler 81 | Spittler 97 |
| Lamppu(jen) teho | W | 24 | 30 | 58 | 58 | 58 | 47 | 70 | 81 | 97 |
| Lukumäärä/tarvittava lkm. | kpl | 12 | 12 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 6 | 9 |
| Suositus hinta | €/ kpl | - | - | 829,00 € | 1 800,00 € | 1 800,00 € | 1 200,00 € | 1 100,00 € | 738,00 € | 722,00 € |
| Valaisinkustannukset | € | 0 € | 0 € | 7 461 € | 16 200 € | 10 800 € | 9 900 € | 4 428 € | 6 498 € | |

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----|----|---------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Lamput | | | | | | | | | | |
| Lamppu teho | W | 58 | 24 | 30 | 58 | 58 | 47 | 70 | 81 | 97 |
| Liitäntälaitteen tehohäviöt | W | 13 | 1 | 1 | 0* | 0* | 0* | 0* | 0* | 0* |
| Lukumäärä/valaisin | kpl | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Yksikköhinta | € | 0 | 55,00 € | 55,00 € | 0** | 0** | 0** | 0** | 0** | 0** |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---|----------|----------|--|--|--|--|--|--|--|
| Lamppukustannukset | € | 660,00 € | 660,00 € | | | | | | | |
|---------------------------|---|----------|----------|--|--|--|--|--|--|--|

| | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------|-----|---------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|
| Asennus | | | | | | | | | | |
| Materiaali- ja työ kustannukset *** | €/ kpl | 0 | 40 | 40 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| Asennuskustannukset | € | 0 | 480 | 480 | 648 | 648 | 648 | 648 | 432 | 648 |
| Investointikustannukset yht. | € | 0 € | 1 140 € | 1 140 € | 8 109 € | 16 848 € | 11 448 € | 10 548 € | 4 860 € | 7 146 € |

* = Tehohäviöt on otettu huomioon lampputehossa
 ** = Lamppu kuuluu moduulina valaisimeen ja sisältyy suositushintaan
 *** = Asennuskulut Sähköurakan yksikkökustannuksia 2012_2

Energiakustannukset

Koy Mäkelän koulu

Käyttökustannukset luokahuone 234

| Energiakustannukset | | Nykyinen | | Led-putki | | Led-putki | | Smartform | | Siteco 47 | | Siteco 70 | | Spittler 81 | | Spittler 97 | |
|---------------------------------|---------|----------|------------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|--|-----------|--|-------------|--|-------------|--|
| | | Thorn | Valtavallo | Ostram | Philips | Glamox | Siteco 47 | Siteco 70 | Spittler 81 | | | | | | | | |
| Asennettu kokonaisteho | W | 852 | 300 | 372 | 522 | 522 | 423 | 630 | 486 | | | | | | | | |
| Käyttöaika vuodessa | h / a | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | | | | | | | | |
| Energiankulutus vuodessa | kWh / a | 2130 | 750 | 930 | 1305 | 1305 | 1057,5 | 1575 | 1215 | | | | | | | | |
| Sähköenergian hinta | €/ kWh | 0,12 € | 0,12 € | 0,12 € | 0,12 € | 0,12 € | 0,12 € | 0,12 € | 0,12 € | | | | | | | | |
| Energiakustannukset vuodessa | | 260 € | 92 € | 113 € | 159 € | 159 € | 129 € | 192 € | 148 € | | | | | | | | |
| Energiakustannukset 20 vuodessa | | 5 197 € | 1 830 € | 2 269 € | 3 184 € | 3 184 € | 2 580 € | 3 843 € | 2 965 € | | | | | | | | |

Valonlähdekustannukset

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|---------|-------|-------|-------|---------|----------|----------|---------|---------|--|--|--|--|--|--|
| Lampun elinikä | h | 18000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | | | | | | |
| Vaihtoväli | vuotta | 7,2 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | | | | | | |
| Valonlähde | € / kpl | 9 | 55 | 55 | 0** | 0** | 0** | 0** | 0** | | | | | | |
| Vaihtokustannus | € / kpl | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 0** | 0** | 0** | 0** | 0** | | | | | | |
| Ryhmävaihdon kustannus | € | 138 € | 690 € | 690 € | 7 461 € | 16 200 € | 10 800 € | 9 900 € | 4 428 € | | | | | | |

Huoltokustannukset

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|--|--|--|--|--|--|
| Puhdistus | € / kpl | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | |
| Käyttöaika ennen puhdistusta | h | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | | | | | | |
| Huoltoväli puhdistus | a | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | | | | | |
| Kustannus 4 vuoden välein | € | 18 | 18 | 18 | 27 | 27 | 27 | 27 | 18 | | | | | | |
| Huoltokustannukset / vuodessa | € / a | 23,67 | 39,00 | 39,00 | 379,80 | 816,75 | 546,75 | 501,75 | 225,90 | | | | | | |
| Huoltokustannukset 20 vuodessa | € / a | 472,26 | 780,00 | 780,00 | 7596,00 | 16335,00 | 10935,00 | 10035,00 | 4518,00 | | | | | | |
| Käyttökustannukset vuodessa | € / a | 283,53 € | 130,50 € | 152,46 € | 539,01 € | 975,96 € | 675,77 € | 693,90 € | 374,13 € | | | | | | |
| Käyttökustannukset 20 vuodessa | € / a | 5 670,53 € | 2 610,00 € | 3 049,20 € | 10 780,20 € | 19 519,20 € | 13 515,30 € | 13 878,00 € | 7 482,60 € | | | | | | |

| Kokonaiskustannukset yht. 20 a | | Nykyinen | Valtavallo | Ostram | Philips | Glamox | Siteco 47 | Siteco 70 | Spittler 81 | Spittler 97 |
|--------------------------------|--|----------|------------|---------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| € | | 5 671 € | 2 610 € | 3 049 € | 10 780 € | 19 519 € | 13 515 € | 13 878 € | 7 483 € | 11 958 € |

** = Ei vaihdettavaa valonlähdettä

** = Valaisin vaihdetaan kokonaan